

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

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,887**  
**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,350**

*Учредитель, издательство и редакция:*  
*ООО НИЦ «Академия Естествознания»,*

*Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47*  
*Адрес учредителя: 410056, Саратовская область,*  
*г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56*  
*Адрес редакции: 410035, Саратовская область,*  
*г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5*

**Founder, publisher and edition:**  
**LLC SPC Academy of Natural History,**

**Post address: 105037, Moscow, p.o. box 47**  
**Founder's address: 410056, Saratov region,**  
**Saratov, 56 Chapaev V.I. str.**  
**Editorial address: 410035, Saratov region,**  
**Saratov, 5 Mamontovoi str.**

*Подписано в печать 29.09.2023*  
*Дата выхода номера 31.10.2023*  
*Формат 60×90 1/8*

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

**Signed in print 29.09.2023**  
**Release date 31.10.2023**  
**Format 60×90 8.1**

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

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

*Распространение по свободной цене*  
*Тираж 1000 экз. Заказ НО 2023/4*  
*Подписной индекс в электронном каталоге*  
*«Почта России»: ПА518*  
*© ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

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

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



**М.М. Филиппов (M.M. Philiprov)**

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

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

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

---

***НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ***

***SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES***

*www.science-education.ru*

*2023 г.*

---



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

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

---

## СОДЕРЖАНИЕ

**Технические науки (2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь, 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации, 2.4. Энергетика и электротехника)**

### СТАТЬИ

ОПТИМАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ УДАЛЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ В ПРИЛОЖЕНИЯХ НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРЫ КЛИЕНТ-СЕРВЕР <i>Драч В.Е., Косян Л.О., Лях А.М., Чукаев К.Е.</i> .....	5
СРАВНИТЕЛЬНАЯ КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА Е-ОТХОДОВ <i>Жолдасбай Е.Е., Аргын А.А., Курмансейтов М.Б., Даруеш Г.С., Ичев В.А.</i> .....	11
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ МОРСКИХ ШЕЛЬФОВ И ЗАЛЕЖЕЙ ДРУГИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ <i>Лискин В.А., Егоров А.В., Гамазов Н.И., Римский-Корсаков Н.А.</i> .....	17
МЕТОДЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПЕШЕХОДОВ, ОСНОВАННЫЕ НА КОРРЕКЦИИ ПИКОВОГО ШАБЛОНА BLUETOOTH <i>Кожубаев Ю.Н., Имин Я.</i> .....	22
ПРЕИМУЩЕСТВА СОВРЕМЕННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ – КУЗБАССА <i>Щербакова Л.Н., Федулова Е.А., Рада А.О.</i> .....	27

---

## CONTENTS

**Technical sciences (2.2. Electronics, photonics, instrumentation and communication, 2.3. Information technologies and telecommunications, 2.4. Energy and electrical engineering)**

### ARTICLES

OPTIMAL INTEGRATION OF REMOTE SYSTEM COMPONENTS  
IN APPLICATIONS CLIENT-SERVER ARCHITECTURE

*Drach V.E., Kosyan L.O., Lyakh A.M., Chukaev K.E.* ..... 5

COMPARATIVE QUALITATIVE ASSESSMENT OF E-WASTE

*Zholdasbay E.E., Argyn A.A., Kurmanseitov M.B., Daruesh G.S., Ichev V.A.* ..... 11

DEVELOPMENT OF INTEGRATED TECHNOLOGY FOR RESEARCHING  
AND FORECASTING THE OIL-AND-GAS POTENTIAL OF OFFSHORE  
SHELVES AND OTHER MINERAL RESERVATIONS

*Liskin V.A., Egorov A.V., Gamazov N.I., Rimsky-Korsakov N.A.* ..... 17

IMPROVED PDR POSITIONING METHOD BASED ON BLUETOOTH  
PEAK PATTERN CORRECTION

*Kozhubaev Yu.N., Yiming Ya.* ..... 22

ADVANTAGES OF MODERN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS  
IN CONSTRUCTION ON THE EXAMPLE OF THE KEMEROVO  
REGION – KUZBASS

*Scherbakova L.N., Fedulova E.A., Rada A.O.* ..... 27

СТАТЬИ

УДК 004.724.3

**ОПТИМАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ  
УДАЛЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ  
В ПРИЛОЖЕНИЯХ НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРЫ КЛИЕНТ-СЕРВЕР**

**Драч В.Е., Косян Л.О., Лях А.М., Чукаев К.Е.**

*ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет», Сочи, e-mail: lyakh.lina.mail.com@mail.ru*

В работе раскрываются общие аспекты взаимодействия компонентов информационных систем, проводится понятие интеграции систем, проводится анализ различных способов интеграции, подробно рассмотрен наиболее распространенный метод интеграции удаленных компонентов, обоснована фактическая эффективность данного метода на примере развернутой децентрализованной информационной системы. В результате выполнения данной работы была разработана система онлайн-кинотеатра, сделан выбор архитектурного стиля для интеграции компонентов. Статья содержит анализ различных методов интеграции, общий обзор наиболее популярного и эффективного метода интеграции, а также описание положительного опыта внедрения метода интеграции в коммерческую разработку через развернутую децентрализованную информационную систему. Описаны способы интеграции различных систем: через общую базу данных, передачу файлов, асинхронный поток сообщений или через API. Дается общее понятие API, приводятся популярные методы реализации API: протокол SOAP и архитектурный стиль REST; методы интеграции REST и SOAP имеют сходство в типичном использовании протокола HTTP, но содержат массу отличий, например в форматах запроса/ответа. Представлены результаты применения REST API в практической разработке системы онлайн-кинотеатра. Проанализированы преимущества выбора технологии REST перед протоколом SOAP в контексте удобства использования, простоты разработки, временных затрат разработчиков, предельных значений интеграции, времени обработки ответа, а также ряда других аспектов. Выполнено обсуждение теоретических и практических результатов исследования. Сделан вывод о преимуществе архитектуры REST перед методом интеграции SOAP по ряду интегральных показателей.

**Ключевые слова:** SOAP, API, REST, интеграция, протокол, запрос, клиент, сервер, микросервис, архитектура приложения

**OPTIMAL INTEGRATION OF REMOTE SYSTEM COMPONENTS  
IN APPLICATIONS CLIENT-SERVER ARCHITECTURE**

**Drach V.E., Kosyan L.O., Lyakh A.M., Chukaev K.E.**

*Sochi State University, Sochi, e-mail: lyakh.lina.mail.com@mail.ru*

General guidelines of remote system components interaction and system integration are being explained. The article contains analysis of different integration methods, general review of the most popular and efficient integration technique, as well as depiction of positive results of the integration method's implementation in commercial development via deployed decentralized information system. Presented article gives common introspection on microservices' functioning principles. In the introductory part it is also described how several varied systems can be integrated with one another: through common database, API, file transfer, or asynchronous message flow. The article gives a general concept of API, brings up popular API implementation methods: SOAP protocol and REST architectural style. In this paragraph it is explained that REST and SOAP integration methods have similarities in typical HTTP protocol usage and differences in request/response formats, as well as plenty others. The performance of the REST API in practical development of online cinema system is presented. The benefits of choosing REST technology over SOAP protocol are investigated in terms of user experience, usability, response processing time, developers' time consumption, simplicity of development, integration preconditions, as well as few others. After discussion of theoretical and practical researches' results, it is possible to note, that the positive aspects of REST technology has an advantage over SOAP integration method, based on the spectrum of integral parameters.

**Keywords:** SOAP, API, REST, integration, protocol, request, client, server, microservice, application architecture

Несмотря на то что однородные системы нетребовательны к комплексной поддержке, а также надежны и просты в исполнении, в настоящее время на передний план выходит иная парадигма разработки, базирующаяся на проектировании сложных систем как совокупности микросервисов. Микросервис (МС) – независимый сервис, отвечающий за один элемент логики в рамках конкретного функционала. Микросервисы взаимодействуют между собой через ряд интерфейсов, но не обладают информацией о внутреннем устройстве

соседних сервисов. Каждый МС автономен и может функционировать отдельно от других частей системы. МС и другие элементы многозвенной информационной системы могут быть написаны на разных языках программирования и, как правило, не могут взаимодействовать между собой напрямую, пользуясь общими данными или переменными. Для взаимодействия разнородных систем, микросервисов и их элементов выполняется процесс, называемый интеграцией систем, – это организация взаимодействия по строго определенному протоколу.

Вид взаимодействия компонентов информационной системы определяется ее архитектурой – моделью системы, учитывающей роли различных элементов, которые концептуально группируются в слои или уровни. Наибольшее распространение получило количество уровней, равное трем. В трехуровневой архитектуре части системы разделены на три физических и логических уровня: уровень данных (предназначен для хранения и управления данными, заключающимися в себе информацию о компонентах и пользователях приложения [1]), уровень приложения (на котором осуществляется обработка данных) и уровень представления (пользовательский интерфейс). В качестве уровня представления может выступать браузер, в качестве уровня приложения – сервер, а в качестве уровня данных – непосредственно база данных системы.

Для того чтобы связать эти уровни в общее информационное пространство, существуют четыре основных интеграционных подхода: асинхронный обмен сообщениями, обмен на уровне файлов [2], общая база данных [3, 4] или через удаленный вызов процедур по API.

Целями исследования являются нахождение оптимальной интеграции удаленных компонентов информационных систем в приложениях на базе архитектуры клиент-сервер, а также определение наиболее эффективной архитектуры при сравнении REST и SOAP. Как правило [5, 6], SOAP встречается в крупных разработках, проводимых в строгом соответствии с ГОСТ 34.602-89, но в коммерческой разработке малого и среднего звена архитектура REST реализуется чаще. Во многом это обусловлено тем, что при разработке, не подпадающей под действие ГОСТ, SOAP значительно усложняет [7, 8] работу команды тестировщиков и команды аналитиков, это ощутимо сказывается на сроках средних и малых проектов, в которых на разработку отводится от полугода до года. Один из подобных реализованных нашей командой проектов – система онлайн-кинотеатра, доступного пользователям через любой веб-браузер. Для достижения цели исследования была проанализирована разработка онлайн-кинотеатра, выполненная в коммерческих целях.

#### **Материал и методы исследования**

Разработка онлайн-кинотеатра потребовала участия команды специалистов. В состав команды разработчиков вошли проектный менеджер, системный аналитик, разработчик-программист, инженер для развертывания серверного оборудования и ПО

и тестировщик. Для оценки проекта (включая предварительную оценку и согласование стоимости на разработку приложения) на предмет трудозатрат в человеко-часах было выделено полмесяца. Этап проектирования интеграционного взаимодействия через сервисы REST был оценен в одну неделю (описание методов, их расположение и структурирование, тестирование запросов и ответов).

Документирование спецификации к методам в сервисе Swagger было сделано уже после приемки проекта. Использование SOAP-протокола предполагало бы написание WSDL-документа с описанием каждого запроса и ответа для каждой из функций, проектирование XSD-схем для форматирования XML-запросов и определения XML-ответов в различных инстанциях, что уже на стадии проектирования и аналитики увеличивает сроки работы команды с одной недели до четырех недель.

Оценка при этом получается менее достоверной, поскольку при итерационной разработке требования к проекту обновляются каждые 2 недели, и управление изменениями в WSDL-документации обходится гораздо дороже, чем в спецификации к REST через OpenAPI.

Пользовательский интерфейс выполнен с помощью фреймворка Angular языка TypeScript, который является разновидностью языка JavaScript. Поскольку язык TypeScript строго типизированный, интеграция частей REST API непосредственно в программный код интерфейса также упростила (а значит, удешевила и ускорила) разработку.

Необходимо было организовать взаимодействие данными между веб-браузером, включенными в него MC пользовательского приложения, панелью администрирования, несколькими базами данных для каждого из MC и общим сервером сайта. С помощью REST-сервиса было организовано взаимодействие четырех компонентов в архитектуре клиент-сервер: прокси-серверов, клиентов, сетевых шлюзов и основных серверов приложения.

Общая структурная схема архитектуры MC представлена на рисунке 1.

При этом, поскольку данный стиль архитектуры придерживается принципов максимальной доступности и простоты, инструментарий REST оказал положительное воздействие на субъективное восприятие пользователей приложения.

Архитектурный стиль интерфейса REST позволилкратно уменьшить нагрузку на аппаратные ресурсы конечного пользователя.



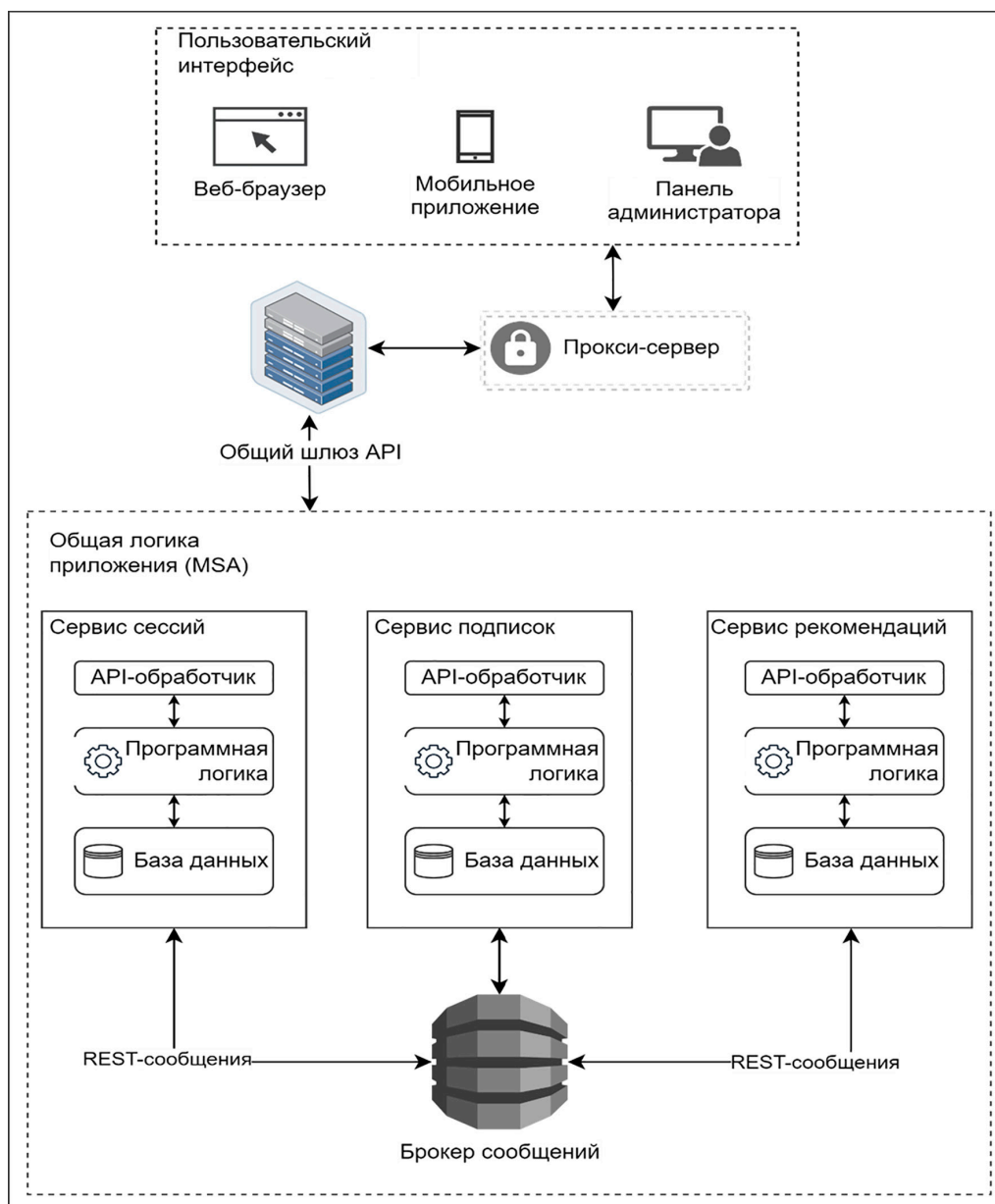


Рис. 1. Общая структурная схема архитектуры МС онлайн-кинотеатра

Генерация запросов и ответов была выполнена в рамках протокола передачи HTTP без predetermined структуры и зависимости от предустанавливаемых трассировщиков запросов-ответов API. Интеграция была проведена без дополнительных компонентов обеспечения взаимодействия, что позволило оптимизировать скорость получения и обработки данных (отдельно следует отметить вклад языка разметки XML).

Интеграция всех модулей по общему API посредством технологии REST снизила объем расходования трафика, поскольку форматы данных в REST не имеют значения, а каждый информационный ресурс опре-

делялся уникальным адресом. Генерация файлов в формате XML требовательна к ресурсам и времени выполнения, если сравнивать с передачей информации без разметки и форматирования, поэтому пропускная способность общей сети оказалась выше, чем в аналогичной информационной системе с архитектурным стилем SOAP.

Общая разработка информационной системы от момента оценки до момента введения в эксплуатацию заняла восемь месяцев, во многом благодаря простоте интеграции компонентов. Сравнительный анализ интеграционных технологий показывает, что использование REST является предпо-

чительным при построении приложений на базе МС с удаленными модулями системы, а SOAP нельзя рекомендовать для новых разработок.

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате выполнения работы удалось наглядно сравнить методы интеграции и их эффективность на примере разработки реального коммерческого проекта. Данное исследование показывает, что методы интеграции систем и их компонентов посредством технологий REST и SOAP в корне отличаются друг от друга и применимы для разных целей, однако сервисы REST явно предпочтительнее за счет значительно снижения нагрузки на сервер, экономии во времени на проектирование интеграции и написание спецификаций, большей гибкости, передачи данных без дополнительных внутренних прослоек, а также более простого формата отправки запросов и анализа ответов.

Сравнение эффективности архитектурных стилей SOAP и REST на разных стадиях жизненного цикла продукта на примере разработки информационной системы онлайн-кинотеатра представлено на рисунке 2. Сбор и анализ данных (рис. 2) позволяют констатировать уверенное превосходство технологии REST.

В результате выполнения данной работы была разработана информационная система онлайн-кинотеатра, интеграция компонентов в которой была осуществлена на основе архитектурного стиля REST. Взаимодействие каждого МС системы с другими элементами выполнено по единому контракту API, передача реализована без дополнительного форматирования, а прогнозируемая дополнительная нагрузка не повлияет на пропускную способность системы за счет установки балансировщика нагрузки (рис. 3).

По итогу внедрения данной разработки достигнуты практические результаты коммерческого пользования за минимальные сроки; информационная система была протестирована вручную, без автоматических A/B тестов, однако тестирование было завершено в течение нескольких дней ввиду простоты тестирования функционала системы. Тестировщиками и конечными пользователями были отмечены интуитивно понятное взаимодействие с программными модулями системы и обработка ошибок различных категорий (возникавших на стороне сервера, клиента, прокси-сервера и т.д.).

Сравнительный анализ двух технологий REST и SOAP приведен в таблице.

В настоящее время выполняется поисковая оптимизация веб-сайта [9, 10], а процесс разработки информационной системы успешно завершен.

**Временные затраты по стадиям разработки (в часах)**

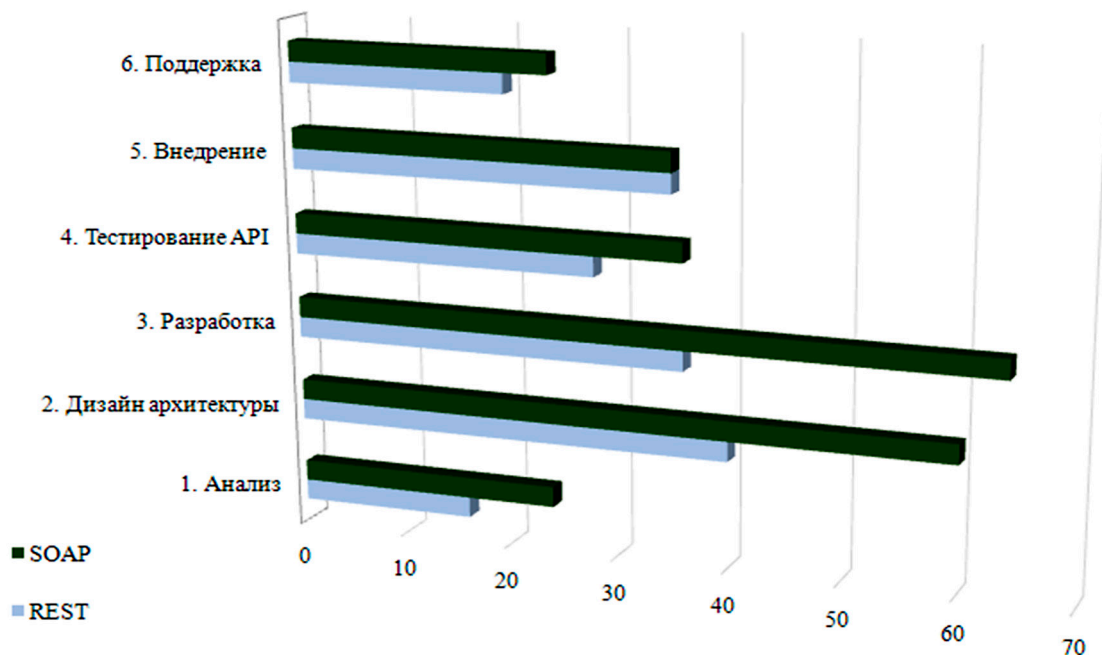


Рис. 2. Эффективность REST/SOAP в жизненном цикле разработки информационной системы



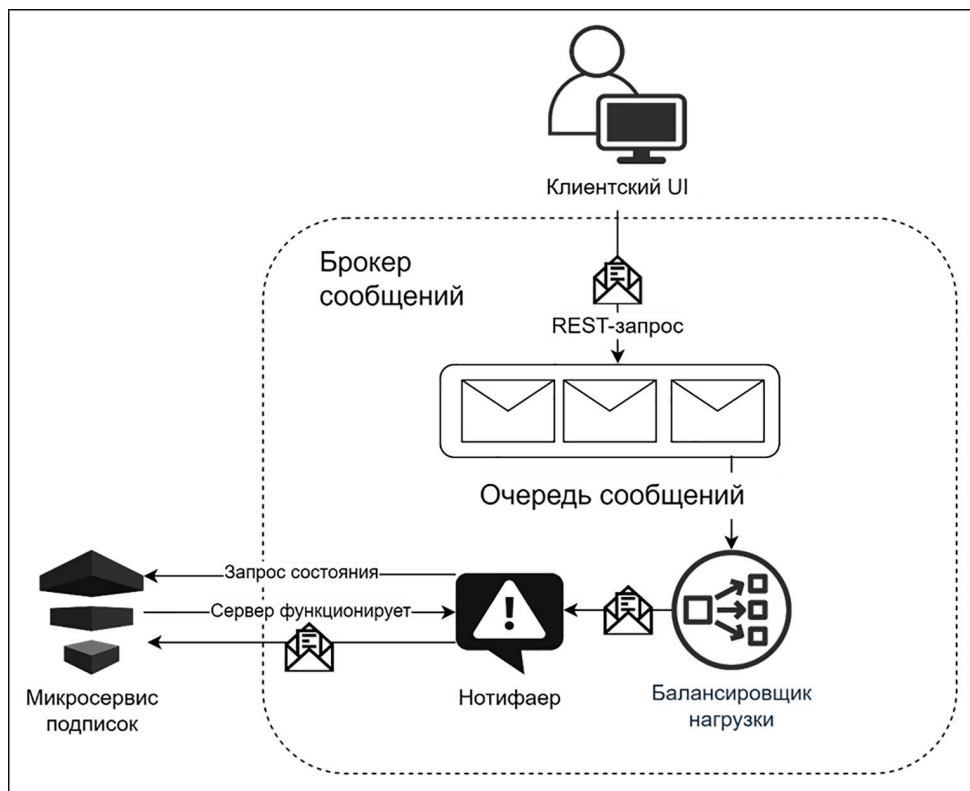


Рис. 3. Схема структурная информационной системы

Сравнительный анализ двух технологий – REST и SOAP

Параметр для сопоставления	Архитектурный стиль интерфейса	
	REST	SOAP
Ограничения структуры сообщений	Требуются только метод и адрес	Требуются заголовок, тело пакета и пространство имен, информация об ошибках не является обязательной
Язык разметки	JSON	XML
Протоколы передачи данных	Исключительно HTTP или HTTPS	HTTP(s), FTP, MQ, SMTP и др.
Спецификация	YAML (возможно, но не обязательно)	Требуется подключение WSDL с определением данных и метаданных
Шаблоны проектирования	CRUD (4 типа запросов)	Отсутствуют
Кэш на стороне сервера	На основе протокола	Отсутствует
Обработка ошибок	Опирается на коды ошибок протокола	Стандартизируется уникально по WSDL

В будущих исследованиях интересной с научной точки зрения задачей будет проведение аналогичного анализа эффективной интеграции компонентов, но уже на прикладной задаче, выполняемой в строгом соответствии с ГОСТ [11].

**Заключение**

В результате выполнения данной работы была разработана система онлайн-кинотеа-

тра, причем для интеграции компонентов был обоснованно выбран архитектурный стиль REST. Коммерческое использование системы стало возможным сразу после разработки и тестирования, ограниченными жесткими временными рамками.

Опыт интеграции компонентов по архитектурному стилю взаимодействия REST можно считать положительным и вдохновляющим на предпочтительное использо-

вание технологии REST перед протоколом SOAP для решения интеграционных задач.

#### Список литературы

1. Копырина А.О., Копырин А.С. Концепция хранения данных в экономической экспертной системе с применением гибридных технологий // Управленческий учет. 2021. № 10-1. С. 46-52.
2. Лебекина Т.В., Соколовский С.П. Модель функционирования защищенной технологии файлового обмена // Вопросы кибербезопасности. 2021. № 5 (45). С.52-62.
3. Драч В.Е., Родионов А.В., Чухраева А.И. Выбор системы управления базами данных для информационной системы промышленного предприятия // Электромагнитные волны и электронные системы. 2018. Т. 23, № 3. С.71-80.
4. Драч В.Е., Ильичев В.Ю. Анализ популярных реляционных систем управления базами данных // Системный администратор. 2021. № 12 (229). С.60-65.
5. Коптяев К.Р., Ходжатов Т.Б., Назаров И.В. Анализ интерфейса взаимодействия REST // Научные горизонты. 2019. № 3 (19). С.148-152.
6. Ильичев В.Ю., Драч В.Е., Кушнир А.С. Сравнительный анализ технологий REST и SOAP для решения интеграционных задач // Системный администратор. 2022. № 4 (233). С. 86-89.
7. Маквитти Л. REST как альтернатива SOAP // Сети и системы связи. 2007. № 1. С. 73-74.
8. Сидорова А.П., Афзалова А.Н. Анализ и распространенность протоколов SOAP, REST для сбора данных на территории Российской Федерации // Меридиан. 2020. № 8 (42). С. 66-68.
9. Дивина О.И. Возможности digital-маркетинга в системе управления компанией // Научные записки академии. 2023. № 1 (45). С. 64-68.
10. Буторин В.А. Основные подходы к продвижению товаров и услуг в цифровом маркетинге // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2023. № 4. С. 225-229.
11. Шеметов А.С., Кириенко О.В., Горчаков А.А. Программные комплексы сопровождения жизненного цикла РЗА и АСУ ТП // Электроэнергия. Передача и распределение. 2023. № 2 (77). С. 72-78.

УДК 669-1:628

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА Е-ОТХОДОВ

<sup>1</sup>Жолдасбай Е.Е., <sup>2</sup>Аргын А.А., <sup>2</sup>Курмансейтов М.Б., <sup>2</sup>Даруеш Г.С., <sup>1</sup>Ичев В.А.

<sup>1</sup>Жезказганский университет им. О.А. Байконурова, Жезказган;

<sup>2</sup>Сатпаев университет, Алматы, e-mail: argyndaidar@gmail.com

В работе показана важность и необходимость проведения предварительной качественной оценки исходных Е-отходов перед их переработкой. Основной методологический принцип исследования, использованный в работе, – рентгенофлуоресцентный метод анализа, обеспечивающий надежное определение качественных характеристик различных по типу и составу электронных отходов. Для исследования качественной оценки отходов от ноутбука и смартфонов использован сертифицированный спектрометр РПП-12 (Т), разработанный фирмой ТОО «АспапГЕО» (г. Алматы), который широко используется на предприятиях горно-металлургического комплекса Казахстана и России. Прибор хорошо адаптирован на проведение экспресс-анализа сплавов. Сравнительный анализ расширенных энергетических участков спектров качественной оценки ноутбуков и смартфонов позволил установить в их составе широкий спектр металлов (Cu, Ag, Pb, Ni, Zn, Fe, Au, Sn) и неметалла (Br). Показано, что содержание золота и брома в ноутбуках значительно превышает аналогичные их содержания в смартфонах. Идентичный характер интенсивности линий на полученных спектрах позволяет сделать вывод о том, что по типу и составу эти образцы вполне пригодны для совместной переработки. Проведение исследований по предварительному качественному контролю Е-отходов, подвергающихся переработке, позволит: (а) с технологической стороны определить спектр возможных извлекаемых металлов и (б) с экологической точки зрения наметить пути обезвреживания потенциально опасных составляющих и вредных токсичных металлов. При правильной организации технологии, обеспечивающей комплексное извлечение ценных металлов, безотходность и экологическую безопасность, переработка Е-отходов может стать ключевым драйвером диверсификации экономики и устойчивого развития малого и среднего бизнеса.

**Ключевые слова:** Е-отходы, ноутбук, смартфон, переработка, качественная оценка, экология, технология, металлы, вредные вещества, окружающая среда

*Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2023-2025 годы по приоритетному направлению «Рациональное использование водных ресурсов, животного и растительного мира, экология» проекта AP19576638 «Разработка инновационной технологии утилизации накопленных отходов Е-лома с получением чистого золота и цветных металлов».*

## COMPARATIVE QUALITATIVE ASSESSMENT OF E-WASTE

<sup>1</sup>Zholdasbay E.E., <sup>2</sup>Argyn A.A., <sup>2</sup>Kurmansaitov M.B., <sup>2</sup>Daruesh G.S., <sup>1</sup>Ichev V.A.

<sup>1</sup>Zhezkazgan University named after O.A. Baikonurov, Zhezkazgan;

<sup>2</sup>Satpayev University, Almaty, e-mail: argyndaidar@gmail.com

The paper shows the importance and necessity of conducting a preliminary qualitative assessment of the initial E-waste before their processing. The main methodological principle of the study used in the work is the X-ray fluorescence analysis method, which provides reliable determination of the qualitative characteristics of various types and composition of electronic waste. To study the qualitative assessment of waste from a laptop and smartphones, a certified spectrometer RPP-12 (T) was used, developed by AspapGEO LLP (Almaty), which is widely used at enterprises of the mining and metallurgical complex of Kazakhstan and Russia. The device is well adapted for rapid analysis of alloys. A comparative analysis of the extended energy sections of the spectra of qualitative assessment of laptops and smartphones allowed us to establish a wide range of metals (Cu, Ag, Pb, Ni, Zn, Fe, Au, Sn) and nonmetals (Br) in their compositions. It is shown that the content of gold and bromine in laptops significantly exceeds their similar contents in smartphones. The identical character of the intensity of the lines on the obtained spectra allows us to conclude that, by type and composition, these samples are quite suitable for joint processing. Conducting research on preliminary qualitative control of E-waste undergoing processing will allow: (a) from the technological side to determine the range of possible recoverable metals and (b) from an environmental point of view to outline ways to neutralize potentially dangerous components and harmful toxic metals. With the right organization of technology that provides comprehensive extraction of valuable metals, waste-free and environmental safety, E-waste recycling can become a key driver of economic diversification and sustainable development of small and medium-sized businesses.

**Keywords:** E-waste, laptop, smartphone, recycling, qualitative assessment, ecology, technology, metals, harmful substances, environment

*The research was carried out within the framework of grant funding by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for 2023-2025 in the priority area “Rational use of water resources, flora and fauna, ecology” of the project AP19576638 “Development of an innovative technology for the disposal of accumulated E-scrap waste with obtaining pure gold and non-ferrous metals”.*

Вовлечение в переработку вторичного сырья всегда привлекало практиков цветной и черной металлургии. Большую актуальность это направление приобретает сегодня, когда наблюдается тренд снижения запасов и качества первичного сырья. Наблюдаемые мировые глобальные политические и экономические перекосы вызывают необходимость изыскания новых месторождений и источников сырья для производства ценных металлов. В жестких экономических рамках оказались страны, где отсутствует собственная минерально-сырьевая база, экономика которых полностью была привязана к импорту металлов и сплавов. Понятно, что в таких условиях наращивание темпов роста производства за счет использования вторичного сырья становится весьма привлекательным. В настоящее время многие европейские и ряд развитых стран (США, Япония, Китай и др.) наращивают объемы извлечения драгоценных металлов из различного вида вторичного сырья, включая лом, техногенные отходы и другие источники, содержащие ценные металлы. Особый интерес представляет восполнение драгоценных металлов за счет переработки электронных отходов, к которому в настоящее время привлечено особое внимание государства, общества, ученых и экспертного сообщества [1-3].

Современное состояние мирового образования, сбора и переработки E-отходов широко освещено в научной литературе [4; 5]. Сложившаяся ситуация касательно E-отходов в мировой практике подробно изложена в обзорных статьях Baldé С.Р. и др. [6; 7]. Авторы на основании большого собранного материала приводят детальный, системный анализ состояния E-отходов, указывают причины образования и подробно излагают факторы, влияющие на рост их объемов и негативное влияние на окружающую среду.

Подробный обзор литературы по E-отходам также приведен в работе [8], где были рассчитаны распределения значений для различных образцов электронных отходов. Авторами показано, что основным экономическим драйвером переработки электронных отходов является восстановление драгоценных металлов. В статье освещается современное состояние извлечения драгоценных металлов из электронных отходов методами пиро-, гидро- и биометаллургической переработки.

Всесторонний обзор проблемы электронных отходов, стратегий управления ими и различные физические, химические и металлургические способы переработки электронных отходов, их преимущества и недостатки для достижения более чи-

стого процесса утилизации отходов, приведен в работе [9]. В обзоре описываются потенциальные опасности и экономические возможности электронных отходов. Особое внимание обращено на опасности, возникающие при переработке E-отходов из-за присутствия тяжелых металлов Hg, Cd, Pb и т.д., бромированных антипиренов и других потенциально вредных веществ в электронных отходах. Авторами акцентировано внимание на том, что из-за присутствия этих веществ электронные отходы обычно считаются опасными отходами, и при неправильном обращении, могут представлять значительный риск для здоровья человека и окружающей среды. Интересным представляется описание текущего состояния и перспективы переработки электронных отходов, вопросов характеристики и классификации. Особый интерес представляет обзор в части определения компонентов электронных отходов/печатных плат.

Большой интерес к переработке E-отходов проявляется и в Российской Федерации. Россия генерирует лишь 3,75% мирового объема электронных отходов, но эта сфера постепенно развивается и становится выгодной. Внедрение эффективных технологий в России сдерживается тем, что крупные металлургические предприятия цветной металлургии нацелены на получение исключительно драгметаллов. Для улучшения экономических показателей предприятий и получения ими максимальной прибыли необходимо внедрять технологии комплексной переработки, направленные на извлечение не только благородных металлов, но и широкого спектра других ценных металлов [10].

Цель работы – проведение сравнительной качественной оценки E-отходов (ноутбуки, смартфоны), которые на сегодняшний день представляют исключительный интерес и могут стать потенциальным источником сырья для восполнения драгоценных и других ценных металлов.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве объекта исследования выбраны E-отходы, полученные после разборки ноутбуков и смартфонов.

В основу методологии исследований положен рентгенофлуоресцентный метод анализа, позволяющий проводить качественную оценку образцов ноутбуков и смартфонов на наличие в них металлов и неметаллов. Образцы для исследований готовили путем общей разделки и отделения корпусов от внутренних частей. Далее полученные E-отходы подвергали предварительной сортировке, включающей отделение от основ-

ных частей матрицы металлической меди и деталей, с ярко выраженным присутствием чистой меди. После сортировки полученный материал разрезали на мелкие кусочки. Каждый предварительно классифицированный отдельно взятый материал E-отходов подвергали качественной оценке на содержание в них металлов и неметаллов.

Для качественной оценки использовали рентгенофлуоресцентный спектрометр РПП-12 (Т), (ТОО «АспапГЕО», г. Алматы). Прибор хорошо адаптирован для сортировки и экспресс-анализа сплавов, анализа порошковых и жидких проб (Сертификат РК № 6903). Разработанный в приборе блок возбуждения и детектирования обеспечивает гибкость в выборе площади сбора аналитической информации, высокую светосилу (входная загрузка более 100 кГц) и чувствительность анализа для широкого круга элементов в нижних пределах их обнаружения [11].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Общий вид прибора РПП-12 (Т) представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Общий вид прибора РПП-12 (Т)

Прибор оснащен мощным методическим и программным обеспечением, что позволяет: для учёта матричных эффектов использовать фундаментальные алгоритмы, в том числе и для рассеянного излучения, учитывающие изменение геометрических условий измерения при вариациях вещественного состава и плотности анализируемых образцов; точно определять функцию отклика каждого детектора, а также спектральный состав возбуждающего излучения; очищать спектр от двойных и тройных наложений; восстанавливать спектр вторичного излучения с учётом зависимости относительных интенсивностей характеристических линий от вещественного состава. Это обеспечивает точное нахождение

истинных интенсивностей аналитических линий элементов [11].

Основные характеристики прибора [11]

- SDD детектор площадью 25 мм<sup>2</sup> с термоохлаждением. Энергетическое разрешение – 140 эВ.
- Малогабаритный рентгеновский излучатель 50 кВ, 4 Вт.
- Цифровой сигнальный процессор с входной интегральной загрузкой более 200 кГц.
- Площадь сбора аналитической информации порядка 4 см<sup>2</sup>.
- Диапазон определяемых элементов от Al до U в воздушной атмосфере.
- Одновременное определение более 35 элементов.
- Интервал определяемых содержаний от предела обнаружения до 100%.
- Предел обнаружения для большинства элементов – 10<sup>-4</sup>% ÷ 10<sup>-3</sup>%.
- Время измерения от 5 сек.
- Полностью автоматизированный режим работы.
- Система самодиагностики.
- Время непрерывной работы прибора без подзарядки аккумуляторов не менее 10 ч.
- Пыле-, влагозащищённый корпус.
- Малые габариты и вес прибора (не более 1,5 кг).

На рисунке 2 представлен общий вид исходных материалов и их состояния после предварительной обработки и подготовки к проведению исследований.

Нетрудно видеть большое количество металлической меди в E-отходах ноутбука. В смартфоне содержание меди, по сравнению с ноутбуком, менее значительно. Это хорошо согласуется с данными литературы [8; 9]. По существующим технологиям отсортированную медь направляют на переработку на медеплавильные заводы для получения товарной меди, которая сопровождается значительными материальными и энергозатратами, связанными, прежде всего, с проведением ряда последовательных операций (плавка, рафинирование, электролиз). При такой организации технологии возникает необходимость сопряжения рядом с предприятиями по переработке E-отходов медеплавильных заводов, что сдерживает развитие производства и снижает ее эффективность. Наиболее рациональным представляется использование полученной после разделки и сортировки металлической меди непосредственно в самой общей технологии переработки E-отходов, например в части плавки материала. При этом медь выполняет функции коллектора для извлечения ряда таких драгоценных металлов, как серебро, платина и палладий. Дальнейшая переработка такой меди повысит экономическую ее привлекательность.



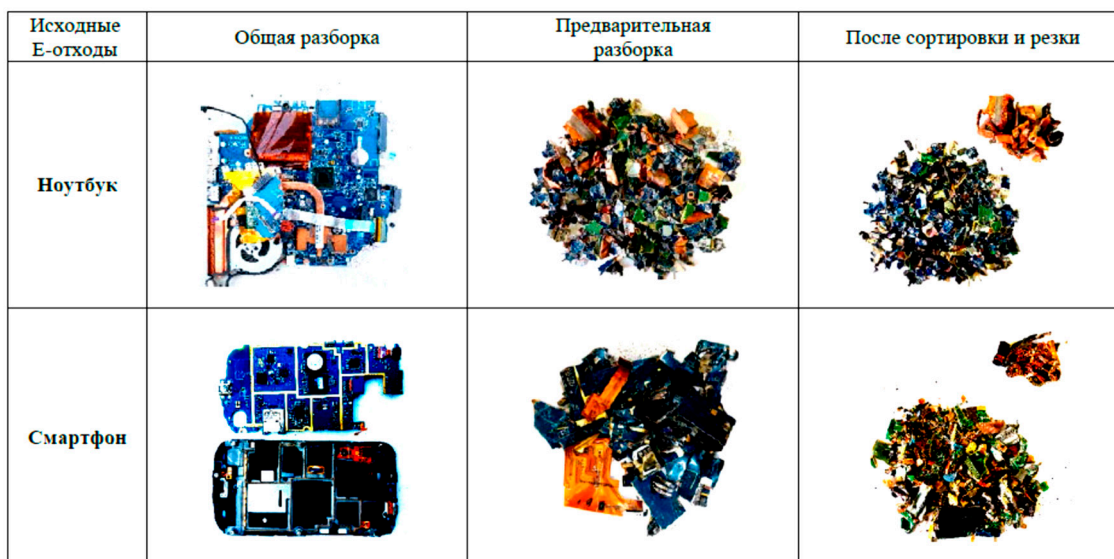


Рис. 2. Общий вид исходных материалов и их состояние после обработки

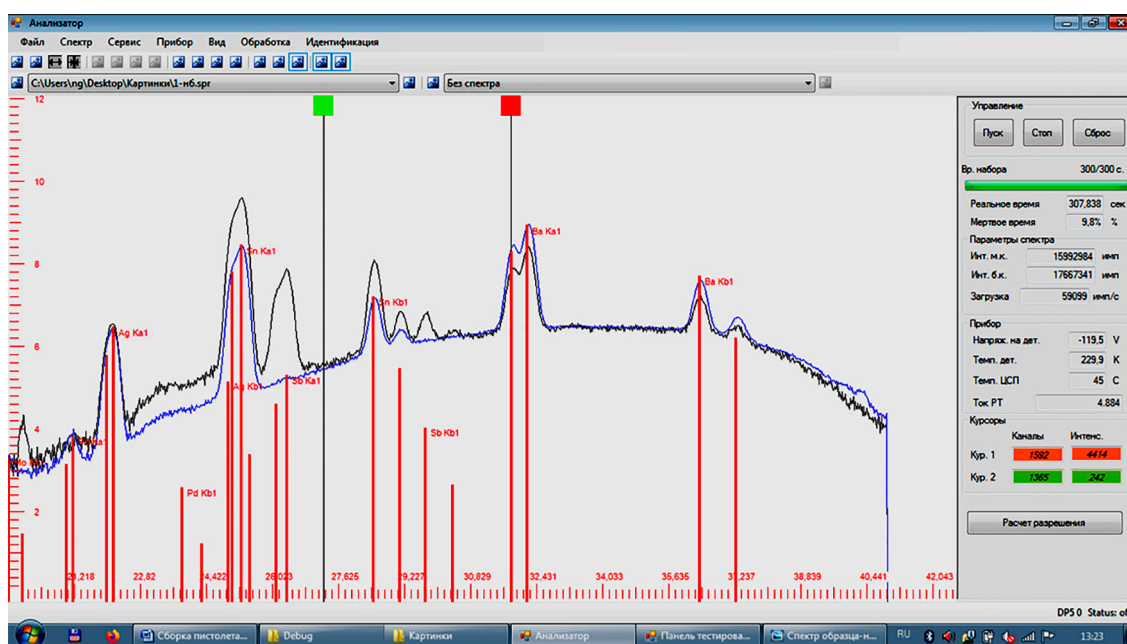


Рис. 3. Сравнительный анализ общих спектров Е-отходов: ноутбук – линии черного цвета; смартфон – линии синего цвета

На рисунке 3 показаны сравнительные общие спектры Е-отходов: ноутбука и смартфона, в интервале изменения энергии от 21 до 42 кэВ.

В исследованном энергетическом участке ярко выражены пики, характерные для серебра, олова и бария. Линии носят идентичный характер и показывают примерно одинаковое содержание серебра как в ноутбуке, так и в смартфонах. Как видно на рисунке 3, содержание олова и бария в ноутбуке выше, чем в смартфоне. На общем спектре излучение конкретных эле-

ментов, присутствующих в исследуемом образце в малых концентрациях, затруднено. Для более детальной качественной оценки наличия других возможных элементов нами было выполнено расширение энергетических участков. Это позволяет по уровню значений энергии идентифицировать наличие в исследуемом образце конкретного металла.

На рисунке 4 показан сравнительный анализ спектров ноутбука и смартфона на расширенном энергетическом участке в интервале изменения энергии от 6 до 13,689 кэВ.



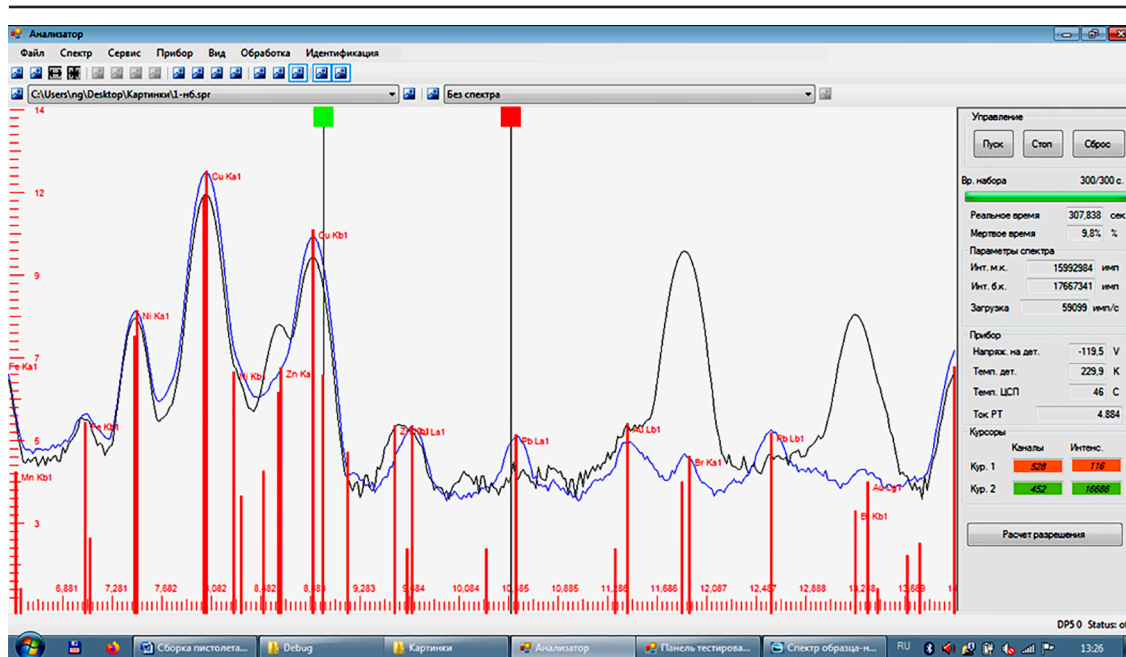


Рис. 4. Сравнительный анализ спектров ноутбука (линии черного цвета) и смартфона (линии синего цвета) на энергетическом участке от 6 до 13,689 кэВ

На рисунке 4 видны ярко выраженные пики, характерные для металлов: Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb. Из драгоценных металлов установлено наличие Au, Ag. Из неметаллов присутствует Br. Содержание цветных металлов, железа и марганца в отходах ноутбука и смартфона примерно одинаково. Содержание золота в ноутбуке намного превышает содержание в смартфоне. Ярко выраженный пик, характерный для брома в ноутбуке, свидетельствует о значительном его наличии в смартфоне.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии широкого спектра металлов в отходах ноутбука и смартфона. Из обнаруженных металлов наиболее вредными считаются свинец и бром.

Оценка содержания металлов в проведенных исследованиях носит относительный характер и является лишь качественной оценкой, так как окончательные усредненные содержания металлов в исследуемых образцах могут быть определены только после измельчения исходных образцов и детального изучения их вещественного состава. Тем не менее проведение предварительной качественной оценки очень важно и может быть использовано для выбора известных технологий и/или при разработке новых технологий по переработке конкретных видов E-отходов. Полученные результаты также могут быть полезны для выбора оптимального состава шихты, включающей различные виды E-отходов.

Результаты качественной оценки E-отходов имеют принципиальное значение для выбора и обоснования технологии их переработки с точки зрения экологической ее безопасности. Знание о наличии в отходах токсичных и вредных металлов и неметаллов позволит выбрать оптимальные пути по их обезвреживанию и предотвратить их выбросы в окружающую среду.

Ниже, на основании анализа обширного материала по переработке E-отходов и полученных в настоящей работе результатов нами сформулирован ряд ключевых моментов, которые представляются наиболее важными для последующего развития технологий, направленных на восполнение драгоценных металлов из E-отходов.

### Выводы

1. Большой интерес к сбору и переработке E-отходов вызван резким ростом их объемов, истощением запасов первичного сырья и возможностью их использования в качестве потенциального источника сырья для восполнения драгоценных металлов.

2. С технологической точки зрения существующие технологии переработки E-отходов в основном направлены на извлечение золота. Среди известных технологий преобладает пирометаллургический способ их переработки.

3. Существующие технологии не обеспечивают высокой комплексности использования сырья и сильно завязаны на высо-

козатратные металлургические производства меди и свинца. Не достаточно четко оптимизированы вопросы сбора, разделки и классификации E-отходов.

4. Вопросы экологической безопасности технологий по переработке E-отходов перекрываются экономической целесообразностью получения драгоценных металлов. Ужесточение экологических требований к переработке E-отходов требует кардинального пересмотра подходов к их переработке и необходимости создания новых, экологически чистых, безотходных технологий.

5. Основным ключевым фактором должна стать предварительная качественная оценка каждого типа E-отходов, подвергающегося переработке. Это позволит с технологической стороны определить спектр потенциально возможных извлекаемых металлов, а с экологической стороны – наметить пути обезвреживания опасных, вредных токсичных металлов.

6. При правильной организации технологии, обеспечивающей комплексное извлечение ценных металлов, безотходность и экологическую безопасность, переработка E-отходов может стать ключевым драйвером диверсификации экономики и устойчивого развития малого и среднего бизнеса.

#### Список литературы

1. Blake V., Farrelly T., Hannon J. Is Voluntary Product Stewardship for E-Waste Working in New Zealand? A Whangarei Case Study // Sustainability (Switzerland). 2019. Vol. 11 (11). P.1–26. DOI: 10.3390/su11113063.

2. Abbasi G. Story of Brominated Flame Retardants: Substance Flow Analysis of PBDEs from Use to Waste. 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://hdl.handle.net/1807/79733> (дата обращения: 21.06.2023).

3. Gadekar J. Extraction of Gold and other Precious Metals from e-waste // International Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Research. 2017. Vol. 1. P. 24-34.

4. Anand A. et al. Recycling of Precious Metal Gold from Waste Electrical and Electronic Equipments (WEEE): A review. // XIII International Seminar on Mineral Processing Technology. Bhubaneswar: CSIR-IMMT. 2013. Vol. 3. P. 916-923.

5. Duan H., Miller T.R., Gang L., Xianlai Z., Keli Y., Qifei H., Jian Z. Supporting Information for: Chilling Prospect: Climate Change Effects of Mismanaged Refrigerants in China Table of Content Tables and Figures // Environmental Science and Technology. 2018. Vol. 52 (11). P. 6350-6356. DOI: 10.1021/acs.est.7b05987.

6. Baldé C.P., Forti V., Gray V., Kuehr R., Stegmann P. The Global E-Waste Monitor 2017 // Edited by United Nations University (UNU). International Telecommunication, 2017. 109 p.

7. Baldé C.P., D'Angelo E., Forti V., Kuehr R., Van den Brink S. Waste mercury perspective, 2010-2035: from global to regional. 2018. United Nations University (UNU), United Nations Industrial Development Organization, Bonn/Vienna, 2018. 60 p.

8. Cui J., Zhang L. Metallurgical recovery of metals from electronic waste // A review Journal of Hazardous Materials. 2008. Vol. 158, Is. 2-3. P. 228-256.

9. Kaya M. Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes // Waste Management. 2016. Vol. 57. P. 64-90.

10. Лолейт С.И. Разработка экологически чистых технологий комплексного извлечения благородных и цветных металлов из электронного лома: спец. 05.16.02 «Металлургия черных и цветных металлов»: дис. ... д-ра техн. Наук / Нац. исслед. технолог. ун-т «МИСиС». Москва, 2010. 245 с.

11. Досмухамедов Н.К., Лезин А.Н. Разработка отечественных приборов аналитического контроля для предприятий горно-металлургического комплекса Казахстана // Горный журнал Казахстана. 2011. № 10. С. 28-35.

УДК 551.46.09

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ МОРСКИХ ШЕЛЬФОВ И ЗАЛЕЖЕЙ ДРУГИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

<sup>1</sup>Лискин В.А., <sup>1</sup>Егоров А.В., <sup>2</sup>Гамазов Н.И., <sup>1,2</sup>Римский-Корсаков Н.А.

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru

Проведена разработка комплексной технологии прогноза нефтегазоносности морских шельфов и залежей других полезных ископаемых, а также комплексного экологического мониторинга акваторий, в том числе в условиях ледового покрова. При этом осуществлено использование автономной гидроакустической системы для измерения вертикальных профилей скорости течения, установленной и интегрированной в донный модуль. Модуль был оснащен высокоразрешающей системой геохимического анализа потоков вещества, поступающего из осадочной толщи. В результате осуществлено создание и испытания экспериментального образца автономного океанологического комплекса. Проведено научно-техническое обоснование и разработана математическая программа для обеспечения имитационного высокоразрешающего моделирования системы геохимического анализа потоков вещества через поверхность раздела вода-осадок. Созданы модель и программы расчетов как для потока вещества из осадка в воду, так и для потока из воды в осадок. В основу модели заложена возможность параметризации концентраций анализируемых компонентов геохимической системы. Так, для кислорода максимальная концентрация определяется реально измеряемым значением концентрации в придонном слое воды. Для метана максимальная концентрация определяется равновесным значением его растворимости в присутствии газовых гидратов с учетом реального давления и температуры в верхнем слое осадков. Разработанная модель позволяет по данным потока метана из осадка в воду рассчитывать положение газогидратной залежи под поверхностью дна. Полученные результаты верифицированы с учетом данных, полученных с помощью глубоководных обитаемых аппаратов на газогидратном месторождении в Центральном Байкале.

**Ключевые слова:** комплекс, автономный, экологический, мониторинг, углеводородные, проявления, метан

*Исследования проведены в рамках Государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2021-0010. Экспериментальная часть исследований выполнялась за счет средств проекта РФФ № 23-17-00156.*

## DEVELOPMENT OF INTEGRATED TECHNOLOGY FOR RESEARCHING AND FORECASTING THE OIL-AND-GAS POTENTIAL OF OFFSHORE SHELVES AND OTHER MINERAL RESERVATIONS

<sup>1</sup>Liskin V.A., <sup>1</sup>Egorov A.V., <sup>2</sup>Gamazov N.I., <sup>1,2</sup>Rimsky-Korsakov N.A.

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru

The development of an integrated technology for forecasting the oil and gas content of sea shelves and deposits of other minerals, as well as integrated environmental monitoring of water areas, including under ice cover. At the same time, an autonomous hydroacoustic system was used to measure the vertical profiles of the current velocity, installed and integrated into the bottom module. The module was equipped with a high-resolution system for geochemical analysis of material flows coming from the sedimentary strata. As a result, the creation and testing of an experimental model of an autonomous oceanological complex was carried out. A scientific and technical substantiation has been carried out and a mathematical program has been developed to provide high-resolution simulation of the system for geochemical analysis of material flows through the water-sediment interface. A model and calculation programs have been created both for the flow of matter from sediment into water and for flow from water into sediment. The model is based on the possibility of parametrizing the concentrations of the analyzed components of the geochemical system. So for oxygen, the maximum concentration is determined by the actually measured value of the concentration in the bottom layer of water. For methane, the maximum concentration is determined by the equilibrium value of its solubility in the presence of gas hydrates, taking into account the real pressure and temperature in the upper layer of sediments. The developed model makes it possible to calculate the position of the gas hydrate deposit under the bottom surface using the data of the methane flow from the sediment into the water. The results obtained were verified taking into account the data obtained using deep-sea manned vehicles at the gas hydrate field in Central Baikal.

**Keywords:** complex, autonomous, ecological, monitoring, hydrocarbon, methane discharge

*The research was carried out within the framework of the State Assignment of the IO RAS on topic No. FMWE-2021-0010. The experimental part of the research was carried out at the expense of the RSF project No. 23-17-00156.*

Проведена разработка комплексной технологии прогноза нефтегазоносности морских шельфов и залежей других полезных

ископаемых, а также комплексного экологического мониторинга акваторий, в том числе в условиях ледового покрова. При этом

осуществлено использование автономной гидроакустической системы для измерения вертикальных профилей скорости течения, установленной и интегрированной в донный модуль. Модуль оснащается высоко-разрешающей системой геохимического анализа потоков вещества, поступающего из осадочной толщи. В результате осуществлена разработка, создание и проведены испытания экспериментального образца автономного океанологического комплекса. Проведено научно-техническое обоснование и разработана математическая программа для обеспечения имитационного высоко-разрешающего моделирования системы геохимического анализа потоков вещества через поверхность раздела вода-осадок. Созданы модель и программы расчетов как для потока вещества из осадка в воду, так и для потока из воды в осадок. В основу модели заложена возможность параметризации концентраций анализируемых компонентов геохимической системы. Разработанная модель позволяет по данным потока метана из осадка в воду рассчитывать положение газогидратной залежи под поверхностью дна. Полученные результаты верифицированы с учетом данных, полученных с помощью глубоководных обитаемых аппаратов на газогидратном месторождении в Центральном Байкале.

Круговорот элементов между литосферой и гидросферой связан с обменом химическими элементами через поверхность раздела вода-дно. Исследование различных процессов на границе между толщей воды и осадками, протекающих в достаточно узком поверхностном слое, представляет значительный интерес. Наиболее значительны изменения концентраций мигрирующих элементов, которые происходят в достаточно малых протяженностях зон, в связи с чем невозможно с необходимой точностью измерить градиенты их концентраций и провести определение диффузионных потоков. Исследования, связанные с названными выше условиями, проводились, но измерения концентраций кислорода с помощью микроэлектродных средств, которые велись в лабораторных условиях, не соответствуют полностью природным условиям.

Другим методом исследований обмена через дно химическими элементами являются так называемые боксовые эксперименты, при использовании которых контактирующая с фиксированной площадью осадка часть гидросферы ограничена стенками бокса. Так как изменение концентраций элементов в боксе осуществляется через дно бокса, то интенсивность чисто природных обменных процессов определя-

ет характер этих изменений. В связи с условиями и задачами таких экспериментов проводится интерпретация полученных результатов, что связано с временными зависимостями измерений концентрации элементов в боксе. Основные допущения, применяемые при исследованиях, анализируются на соответствие системе уравнений, которые описывают временную и пространственную изменчивость концентраций элементов, представленных в водорастворимых формах.

### Материалы и методы исследования

Для количественного мониторинга содержания метана в поверхностных водах использовалось непрерывное сканирование с помощью тракта измерения метана. В результате были получены массивы данных, достаточные, чтобы на их основе рассчитать эмиссию метана из вод Карского моря в атмосферу. Получены систематические данные по вертикальному распределению метана в толще морской воды, в различных зонах Карского моря. В результате были выявлены характерные вертикальные структуры с подповерхностным максимумом концентраций метана. Исследования подповерхностных вертикальных структур позволили выявить подповерхностный максимум метана, что в свою очередь позволяет сделать заключение об определяющей роли процессов, происходящих внутри самой водной толщи на образование, окисление и эмиссию метана из гидросферы в атмосферу. Проведена разработка структуры и объединение в составе автономного океанологического комплекса разработанных технических и программно-методических средств исследований. Выполнен выбор Арктического бассейна в качестве региона проведения предварительных натурных испытаний макета автономного океанологического комплекса. Проведены испытания и научные исследования углеводородных проявлений в Карском море [1; 2].

Рассмотрим структуру реализации датчика метана. Два чувствительных элемента, один для температуры, другой для метана, расположены в головной части датчика. От контакта с водой чувствительный элемент защищен силиконовой мембраной, лежащей на пористой мембране, способной противостоять действию внешнего давления. Оба чувствительных элемента через внутренние разъемы подсоединены к электрической плате, располагающейся в центральной части прочного корпуса. На плате расположены усилительные и компенсаторные схемы, позволяющие подбирать рабочий режим для датчика. Адсорб-



ция углеводородов на активном слое полупроводника ведёт к обмену электронами с  $\text{SnO}_2$  и таким образом изменяет проводимость активного слоя, которая, в свою очередь, конвертируется в напряжение. При помощи аналого-цифрового преобразователя напряжение преобразуется в цифровой формат и подаётся через сериальный порт в компьютер. Одновременно через этот же порт поступают цифровые данные температуры. Компьютер в соответствии с заложенной калибровочной формулой осуществляет пересчет данных напряжения на датчике в значения концентрации метана в протекающей воде. Каждый датчик калибруется независимым образом и, следовательно, является уникальным. Согласно данным калибровки, для используемых в экспедициях датчиков, диапазон измерений концентраций метана составляет  $3 \div 500 \text{ nM}$ , а диапазон температуры  $2 \div 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Забортная насосная система состоит из насоса и системы трубопроводов. Насос располагается на главной палубе судна. Входной трубопровод одним концом погружен в забортную воду по правому борту судна при помощи груза и системы растяжек, а другой конец присоединён к входному патрубку насоса. Ввиду высокого расположения насоса над уровнем забортной воды и интенсивных колебаний входной части трубопровода при сильном волнении и высокой скорости судна, подаваемая насосом вода содержит значительное количество пузырей. Вместе с тем сравнение с данными хроматографических исследований проб воды, отобранных из выходной магистрали, и проб, взятых специальной емкостью с поверхности моря, показало, что присутствие пузырей не влияет существенно на качество измерений концентраций при помощи датчика и системы протока при не слишком малых концентрациях. Предполагается, что в случае значительного количества пузырей при малых концентрациях метана ( $\sim 3 \text{ nM}$ ), прибор выдаёт заниженные концентрации. В ходе экспедиций система отбора воды была модернизирована. Входной патрубков трубы отбора был жёстко закреплён на вертикальной стальной трубе, так что были прекращены колебания входной части трубы. Появление пузырей больше не наблюдалось. В результате отбор вод модернизированной системой производился без появления пузырей. Качество отбираемой воды больше не влияло на достоверность данных. Выходящая из насоса вода распределялась между несколькими пользователями, одним из которых является датчик метана. Вода к датчику подавалась по пластиковому шлангу  $3/4$ ». Вода проте-

кала через специальную камеру, в которой располагался чувствительный элемент датчика (детектор метана).

На основании исследований донных осадков сделаны выводы о том, что на Баренцево-Карском шельфе были широко распространены три горизонта вскрытого разреза позднечетвертичного возраста. Проведенный анализ показал, что нижний горизонт был сформирован в период последнего оледенения и представлен «диамиктоном». Горизонт ледниково-морской, является переходным и был накоплен в период дегляциации, которая стала наиболее интенсивной с момента захода атлантических вод в желоб (13.3 тыс. л. назад). С вышерасположенным горизонтом граница проводится по опесчаненному, окисленному, «сухому» прослою. В желобе установились «морские» условия, близкие к современным, начиная с 10 т.л.н. Отметим, что необходимы дополнительные исследования (например, проведение микрофаунистического анализа) для подтверждения приведенной интерпретации разреза.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Создан код (программа (код)-Вох\*.exe) для анализа данных боксовых экспериментов. Сначала по зависимости изменения концентрации в изолированном от осадка боксе определяется порядок и скорость реакции потребления кислорода в гидросфере. Далее находятся порядок и скорость реакции потребления кислорода в осадке путем анализа изменения концентрации кислорода в баке, который открыт для проникновения кислорода в осадок. Входная информация (высота бака, толщина пограничного слоя, коэффициент диффузии, концентрационные зависимости в изолированном и открытом баках, точность измерения) содержится в специальном файле: \*.dat. Этот файл создается кодом путем опроса пользователя. Этот текстовый файл также может быть создан или может редактироваться при помощи любого текстового редактора. Файл помещается в ту же папку, что и код. В начале работы код запрашивает имя этого файла, но имя файла вводится без расширения. Если файл с аналогичным именем уже имеется в папке кода, то опроса не производится, и вся входная информация считывается из этого файла. Далее входные данные выводятся на экран, и для продолжения работы следует нажать любую клавишу.

После этого на экран выводятся результаты анализа реакции в гидросфере, для трех значений порядков:  $m=0, 1, 2$ . Выводятся порядок реакции, константа скоро-

сти реакции и приведенное значение  $\chi^2$ . Данные, отвечающие лучшему приближению, выделены рамкой. Если теперь нажать любую клавишу, то именно эти данные будут использоваться для описания реакции в гидросфере. Но пользователь может сам выбрать порядок реакции, путем перемещения рамки при помощи клавиш курсора. Далее рассчитывается процесс в «рабочем» баке. Расчеты проводятся для различных значений толщин пограничного слоя  $h=h_0*k/4$ , где  $h_0$  – толщина пограничного слоя, независимо определенная в эксперименте и задаваемая входными данными,  $k=0,1, \dots, 20$ . На следующем этапе выводятся на экран приведенные значения  $\chi^2$  для различных значений  $h$  и порядков реакций в осадке  $n=0, 1, 2$ . Горизонтальная зеленая линия соответствует  $\chi^2=1$ . Вертикальная зеленая линия соответствует  $h=h_0$ . Вертикальная красная линия соответствует максимально возможному значению толщины пограничного слоя. Аппроксимационные кривые, значения порядков реакции, комплекса В (размерность  $[c]^{(1-n)/2} \text{cm/s}$ ),  $\chi^2$  и начального потока  $j_0$  ( $[c] \text{cm/s}$ ) выводятся на экран только в случае  $h=h_0$ . Все остальные результаты содержатся в выходном файле \*.out [3; 4].

Разработан специальный численный код для обработки данных и анализа измерения концентрации кислорода в рабочей и контрольной емкостях донной станции автономного океанологического комплекса. Код написан на языке программирования «Турбо Паскаль». Анализ явления основан на ранее разработанной физико-химической модели массообмена кислорода на границе дно-осадок. Сначала по зависимости изменения концентрации в изолированном от осадка контрольном баке определяется порядок и скорость реакции потребления кислорода в гидросфере. Далее определяется поток кислорода из гидросферы в осадок, а также порядок и скорость реакции потребления кислорода в осадке путем анализа изменения концентрации кислорода в баке, который открыт для проникновения кислорода в осадок. Входной информацией кода являются: высота бака, толщина пограничного слоя, коэффициент диффузии, концентрационные зависимости в изолированном и открытом баках, полученные при помощи донной станции автономного океанологического комплекса, а также точность измерения. Выходной информацией являются порядок и константы скорости химической реакции потребления кислорода в осадке, а также аппроксимирующие зависимости изменения концентрации кислорода в гидросфере. Следующим блоком выходной информации является набор данных, опи-

сывающих процесс в осадке. В частности, выводятся значения потока растворенного в воде кислорода через границу дно-осадок, а также значения констант и порядков химических реакций потребления кислорода в осадке. Предусмотрен вывод данных в численном и графическом виде на экран компьютера, а также запись данных в текстовый файл для последующего представления выходных данных при помощи стандартных графических редакторов Excel или Origin.

Специфика работы в природных условиях состоит во внешнем давлении, которое для разных модификаций комплекса может достигать 200 атмосфер. Для природных условий морского дна, как правило, характерна низкая температура порядка 4 °С. В арктических водах температура может быть отрицательной. Так, например, на дне подводного грязевого вулкана «Хаакон Мосби», в осадках которого обнаружены залежи газовых гидратов, температура составляет -1.8 °С. Для того чтобы аппаратура работала при столь низких температурах, должны использоваться соответствующие материалы, в частности используемые смазочные масла. Также необходимо тестирование работоспособности всех электронных устройств, при условиях низких температур. Для этого следует проводить лабораторные тесты в холодильных камерах. Для отработки работоспособности комплекса в ледовых условиях необходимо проводить испытания всего комплекса в реальных зимних условиях, чтобы учесть все, иногда совершенно неожиданные, особенности влияния низких и отрицательных температур как на отдельные элементы, так и на работоспособность всего комплекса в целом. В этой связи следует отметить важность создания облегченного шельфового комплекса, что связано с огромными перспективами именно шельфовых зон океана на запасы углеводородного сырья. Однако российский шельф, особенно арктический, имеет недостаточную инфраструктуру и транспортную доступность, что делает особо важным легкость, простоту и надежность используемой техники, особенно на первых этапах освоения этих акваторий. В частности, большое внимание уделяется, в последнее время, вопросам исследований повышенной эмиссии метана огромным шельфом морей восточной Арктики (морем Лаптевых, Восточно-Сибирским и Чукотским морями). Предполагается, что эмиссия метана связана с таянием вечной мерзлоты, залегающей под шельфом, что дает возможность разгружаться в воду, а затем и в атмосферу подмерзлотным залежам метана.



Эмиссия метана столь велика, что этим серьезно озабочена мировая общественность с точки зрения влияния на глобальное потепление, и в частности на потепление в Арктическом регионе. Использование разрабатываемого комплекса в этих акваториях позволило бы получать самую необходимую информацию в потоках метана через поверхность дна.

В итоге отметим, что областью применения полученных результатов, в первую очередь, являются научные исследования акваторий, связанные с процессами обмена химическими компонентами через поверхность раздела вода-осадок. Еще одна область применения – это экологические исследования, связанные с захоронением различных компонентов, загрязняющих воды (например, радиоактивные загрязнения). А также исследования, связанные с последующим процессом выхода этих загрязнений из осадка в воду. Кроме того, необходимо проведение исследований, касающихся фундаментальных вопросов о глобальном цикле углерода. Все эти исследования связаны с потребностями нефтегазового комплекса в проведении нефтепоисковых работ. Перечисленные направления являются основными «потребителями» исследований новых нетрадиционных форм углеводородсодержащего сырья – газовых гидратов, с чем связана их практическая значимость. В этой связи отметим, что запасы газовых гидратов в осадках Мирового океана могут превышать все традиционные источники нефтегазового потенциала на суше. Разработанные образцы техники и программные методы обработки результатов закладывают основу для разработки способов добычи подводных газовых гидратов. Это направление обладает инновационным потенциалом [5; 6].

### Заключение

Проведена разработка структуры и объединение в составе автономного океанологического комплекса разработанных технических и программно-методических

средств исследований. Выполнен выбор Арктического бассейна в качестве региона проведения предварительных натурных испытаний макета автономного океанологического комплекса. Проведены испытания и научные исследования углеводородных проявлений в Карском море. Впервые в мире для количественного мониторинга содержания метана в поверхностных водах использовалось непрерывное сканирование с помощью тракта измерения метана. В результате получен массив данных, достаточный, чтобы на его основе рассчитать эмиссию метана из вод Карского моря в атмосферу. Получены систематические данные по вертикальному распределению метана в водной толще различных зон Карского моря. Выявлена вертикальная структура с подповерхностным максимумом метана, что позволяет сделать заключение об определяющей роли процессов, происходящих внутри самой водной толщи, влияющих на образование, окисление и эмиссию метана из гидросферы в атмосферу.

### Список литературы

1. Римский-Корсаков Н.А., Флинт М.В., Поляков С.Г., Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Пронин А.А., Тронза С.Н. Развитие технологии комплексных инструментальных подводных наблюдений применительно к экосистемам Российской Арктики // *Океанология*. 2019. Т. 59, № 4. С. 679–683.
2. Iovino D., Masina S., Storto A., Cipollone A., Stepanov V. A 1/16° eddy simulation of the global NEMOv3.4 sea ice-ocean system // *Geosci. Model Dev.* 2016. Vol. 9. P. 2665–2684. DOI: 10.5194/gmd-9-2665-2016.
3. Лебедев К.В. Арго-Модель Исследования Глобального Океана: синтез наблюдений и численного моделирования // *Океанологические исследования*. 2017. Т. 45, № 1. С. 53–69.
4. Писарев С.В. Современные дрейфующие роботизированные устройства для контактных измерений физических характеристик арктического бассейна // *Океанологические исследования*. 2019. Т. 47, № 4. С. 5–31.
5. Lebedev K.V., Tarakanov R.Yu. A model study of the wind stress influence on the interannual variability of the Antarctic Circumpolar Current // *Russ. J. Earth Sci.* 2018. V. 18. P. ES2002.
6. Gavrilov A., Malakhova V., Pizhankova E., Popova A. Permafrost and Gas Hydrate Stability Zone of the Glacial Part of the East-Siberian Shelf // *Geosciences*. 2020. V.10 (12). DOI: 10.3390/geosciences10120484.

## МЕТОДЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПЕШЕХОДОВ, ОСНОВАННЫЕ НА КОРРЕКЦИИ ПИКОВОГО ШАБЛОНА BLUETOOTH

<sup>1</sup>Кожубаев Ю.Н., <sup>2</sup>Имин Я.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,  
e-mail: y.n.kozhubaev@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,  
Санкт-Петербург, e-mail: um-urii@mail.ru

На основе существующих исследований в этом документе оценивается, проходят ли пешеходы мимо базовой станции Bluetooth, путем адаптивного определения пикового значения RSS, а затем используется известное положение базовой станции и ориентация коридора для корректировки положения, размера шага и направления PDR, тем самым подавление кумулятивной ошибки PDR. В данной статье на первом этапе используется алгоритм скользящего среднего для сглаживания и фильтрации кривой RSS для уменьшения количества ложных пиков; на втором этапе сохраняются только все значения RSS и соответствующие метки времени до тех пор, пока сигнал Bluetooth не перестанет работать, быть получен или RSS низкий. Третий шаг состоит в том, чтобы пройти последовательность RSS, сохраненную на втором шаге, и найти максимальное значение как пиковое значение, чтобы гарантировать правильность идентифицированного пикового значения. В этой статье метод PDR используется для оценки смещения пешеходов во время обнаружения пика RSS, а затем оценочное смещение добавляется к координате положения базовой станции Bluetooth B, чтобы получить координаты положения пользователя C, когда пик детектируется. Экспериментальные результаты показывают, что по сравнению с традиционным PDR точность позиционирования этого метода значительно повышается.

**Ключевые слова:** Bluetooth, гироскоп, кумулятивная ошибка, пешеходы, метод пикового обнаружения

## IMPROVED PDR POSITIONING METHOD BASED ON BLUETOOTH PEAK PATTERN CORRECTION

<sup>1</sup>Kozhubaev Yu.N., <sup>2</sup>Yiming Ya.

<sup>1</sup>Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, e-mail: y.n.kozhubaev@gmail.com;

<sup>2</sup>Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, e-mail: um-urii@mail.ru

To solve the problem of cumulative error in pedestrian counting (Pedestrian Dead Reckoning, PDR), an improved PDR positioning method based on Bluetooth peak correction is proposed. The advanced RSS peak detection method is used to detect the Bluetooth base station, and is used to correct the position of the PDR, the PDR step size is estimated according to the distance between landmarks, and the direction of the gyroscope is corrected with the Corridor Orientation. This method does not require the creation of a fingerprint database or a wireless signal propagation model and at the same time saves the process of an offline learning step size model. Experimental results show that, compared with traditional PDR, the positioning accuracy of this method is significantly improved. Based on existing research, this paper estimates whether pedestrians are walking past a Bluetooth base station by adaptively detecting the RSS peak value, and then using the known base station position and corridor orientation to adjust the PDR position, step size, and direction, thereby suppressing cumulative error. PDR. Based on existing research, this paper estimates whether pedestrians are walking past a Bluetooth base station by adaptively detecting the RSS peak value, and then using the known base station position and corridor orientation to adjust the PDR position, step size, and direction, thereby suppressing cumulative error. PDR.

**Keywords:** Bluetooth, gyroscope, cumulative error, pedestrians, peak detection method

Вычисление пути пешеходов (PDR) использует метод обнаружения шагов, чтобы определить, сделал ли пешеход шаг, затем оценивает длину шага и направление ходьбы для этого шага и наконец вычисляет координаты положения этого шага, комбинируя координаты положения предыдущего шага. Принцип следующий:

$$\begin{bmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + L_{i+1} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta_{i+1} \\ \sin\theta_{i+1} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}$  – координата положения шага  $i$ ;

$L_{i+1}$  – предполагаемый размер шага  $i+1$ ;

$\theta_{i+1}$  – предполагаемое направление шага  $i+1$ ;

$\begin{bmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \end{bmatrix}$  – координата положения шага  $i+1$ .

Таким образом, PDR в основном включает четыре части: определение начального положения, определение шага, оценку размера шага и оценку направления.

Фактическое измеренное значение RSS и расстояние не удовлетворяют строгому монотонному убывающему соотношению, в результате чего кривая RSS обычно имеет несколько пиков. Точное обнаружение истинных пиков имеет решающее значение для позиционирования Bluetooth.

Традиционным методом обнаружения пиков является метод скользящего окна. Сначала алгоритм скользящего среднего используется для сглаживания и фильтрации кривой RSS, чтобы максимально уменьшить количество ложных пиков, затем определяется пиковое значение в соответствии с определением формулы (5), пиковое значение меньше, чем  $A$ , тогда  $A$  считается реальным пиковым значением. Однако помехи RSS в разных местах различны, и скорость ходьбы пользователей также каждый раз разная, в результате чего количество и расстояние пиков на кривой RSS не являются фиксированными, поэтому ширину  $T$  скользящего окна нельзя определить.

Кроме того, традиционный метод скользящего окна имеет определенную временную задержку при обнаружении пикового значения, что приводит к тому, что пешеходы уже прошли определенное расстояние между моментом появления пикового значения и моментом обнаружения пикового значения. Если положение PDR корректируется непосредственно с помощью координат положения базовой станции, возникнут определенные ошибки.

Для решения проблемы кумулятивной ошибки при подсчете пешеходов (Pedestrian Dead Reckoning, PDR) предлагается улучшенный метод позиционирования PDR, основанный на коррекции пиков Bluetooth. Усовершенствованный метод пикового обнаружения RSS используется для обнаружения базовой станции Bluetooth и используется для корректировки положения PDR, размер шага PDR оценивается в соответствии с расстоянием между ориентирами, а направление гироскопа корректируется. Этот метод не требует создания базы данных отпечатков пальцев или модели распространения беспроводного сигнала и в то же время сохраняет процесс автономной модели размера шага обучения. Экспериментальные результаты показывают, что по сравнению с традиционным PDR точность позиционирования этого метода значительно повышается.

### Материалы и методы исследования

**Определение начального положения.** PDR не может обеспечить начальное положение для себя и обычно обеспечивается другими технологиями позиционирования (такими как начальное позиционирование Wi-Fi) или искусственно выбирает определенное место в качестве точки отсчета [1].

**Обнаружение шагов.** Поскольку ходячее состояние человека является периодическим процессом, то и ускорение имеет очевидную периодичность. Наиболее популярным методом детектирования ступе-

ней в настоящее время является пошаговый метод подсчета пиков, то есть каждый пик соответствует пройденному шагу, а общее количество пиков равно количеству пройденных шагов. Однако из-за шума в данных об ускорении, измеренных датчиком, много ложных пиков мешают подсчету шагов (как показано на рис. 1), поэтому сначала используется фильтр для фильтрации шума. Учитывая, что при обычной ходьбе человек может сделать до трех шагов за одну секунду (что соответствует трем пикам за одну секунду на кривой ускорения), выбирается фильтр нижних частот Баттерворта с частотой среза 3 Гц. Окончательно подсчитанные пики – это количество предпринятых шагов [2].

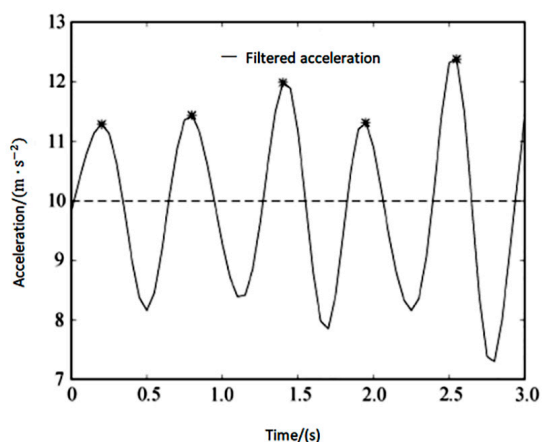


Рис. 1. Этапы расчета PDR

**Оценка шага.** В настоящее время существует множество методов оценки размера шага, но для большинства из них необходимо создать математическую модель для описания взаимосвязи между размером шага и характеристиками походки. Более зрелые модели размера шага в основном включают (1) Модель нелинейного размера шага [3]. Чем больше изменение ускорения, тем больше длина шага  $L$ , формула выглядит следующим образом:

$$L = K \times \sqrt[4]{a_{\max} - a_{\min}}, \quad (2)$$

где  $a_{\max}$  и  $a_{\min}$  – максимальное значение и минимальное значение данных ускорения за один шаг соответственно,  $K$  – параметр модели.

(2) Линейная ступенчатая модель [4]. Чем выше скорость ходьбы (чем больше шагов делается в единицу времени, т. е. больше частота шагов), тем больше длина шага  $L$ . Формула выглядит следующим образом:

$$L = a \times f \times b, \quad (3)$$

где  $f$  – частота шага,  $a$  и  $b$  – параметры модели.

*Принцип пикового позиционирования Bluetooth.* Исследования показали, что теоретически мощность беспроводного сигнала имеет логарифмическую зависимость от расстояния распространения, и формула выглядит следующим образом:

$$P_x = P_0 + 10\lambda \lg\left(\frac{x}{x_0}\right), \quad 4 \quad (4)$$

где  $x_0$  – эталонное расстояние (обычно выбирается равным 1 м);  $P_0$  – уровень принимаемого сигнала (RSS, единица измерения: дБм) в точке  $x_0$ ;  $P_x$  – значение RSS в точке  $x$ ;  $\lambda$  – коэффициент потерь на трассе (обычно между 2 и 4).

Если предполагать, что пешеход проходит мимо базовой станции Bluetooth, расстояние между пешеходом и базовой станцией должно сначала постепенно уменьшаться, а затем постепенно увеличиваться с течением времени. Теоретически изменение расстояния приведет к тому, что RSS, полученный мобильным телефоном, сначала увеличится, а затем уменьшится, и имеет только одно пиковое значение [5].

Очевидно, что, когда возникает пик, пользователь находится ближе всего к Bluetooth (находится ближе к низу). Следовательно, после обнаружения пика RSS положение PDR можно скорректировать с помощью заранее известных координат базовой станции Bluetooth, тем самым немедленно уменьшив кумулятивную ошибку PDR [6]. Первоначально  $RSS_t$  определяется как пиковое значение, когда выполняются следующие условия:

$$RSS_t > RSS_{t-1} \text{ и } RSS_t > RSS_{t+1} \quad (5)$$

где  $RSS_t$  – мощность принимаемого сигнала в момент времени  $t$ .

*Улучшенный метод обнаружения пиков RSS.* В этой статье метод PDR используется для оценки смещения пешеходов во время обнаружения пика RSS [7], а затем оценочное смещение добавляется к координате положения базовой станции Bluetooth  $B$ , чтобы получить координаты положения пользователя  $C$ , когда пик детектируется (формула (5)).

$$\begin{bmatrix} C_x \\ C_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_i^k L_i \cos(\theta_i) \\ \sum_i^k L_i \sin(\theta_i) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

где  $\begin{bmatrix} B_x \\ B_y \end{bmatrix}$  представляет собой координаты местоположения пользователя в момент

появления пикового значения;  $C$  представляет собой смещение пешехода в течение периода обнаружения пика, которое можно

оценить  $\begin{bmatrix} \sum_i^k L_i \cos(\theta_i) \\ \sum_i^k L_i \sin(\theta_i) \end{bmatrix}$  с помощью PDR;

$K$  представляет собой количество пройденных шагов;  $\begin{bmatrix} C_x \\ C_y \end{bmatrix}$  представляет координаты

местоположения пешехода при обнаружении пикового значения [8].

*Коррекция ориентира Bluetooth PDR.* Принимая во внимание высокую точность краткосрочного позиционирования PDR и большую кумулятивную ошибку после длительного времени, в разделе 2.2 предлагается использовать местоположение ориентиров Bluetooth для корректировки предполагаемого местоположения PDR, тем самым уменьшая кумулятивную ошибку [9]. Кроме того, он также может использовать ограничения направления ходьбы людей в специальных помещениях (например, в коридорах) для корректировки размера шага и направления PDR, а также для дальнейшего повышения точности позиционирования PDR [10].

*Коррекция размера шага PDR.* Традиционная PDR [11] требует построения математической модели для описания взаимосвязи между размером шага и характеристиками походки (например, модели с двумя размерами шага в разделе 1.3), но в построении модели есть ошибки; кроме того, необходимо собирать данные об ускорении на автономном этапе и данные о размере шага, но параметры модели у разных пользователей неодинаковы [12].

Поскольку длина шага человека мало меняется в процессе ходьбы, ее можно приблизительно унифицировать как фиксированную длину шага. Предполагая, что  $S$  – это расстояние между двумя базовыми станциями Bluetooth, а  $N$  – количество статистических данных обнаружения походки, средняя длина шага  $L$  может быть выражена как

$$L = S / N, \quad (7)$$

*Коррекция направления PDR.* Долгосрочный эффект гироскопа не так хорош, как у компаса. Он имеет высокую точность позиционирования в краткосрочной перспективе и не нарушается аномальными магнитными полями. Поэтому корректировка гироскопа время от времени с надежным



направлением может подавить накопление ошибок гироскопа. Принимая во внимание ограничения коридоров и стен на направление ходьбы людей в условиях помещения, при обнаружении пикового значения Bluetooth RSS сначала оценивается, к какой базовой станции Bluetooth находится пользователь, согласно UUID, а затем базовая станция Bluetooth определяет идет ли пешеход вперед или назад, в соответствии с разницей между предполагаемым направлением гироскопа и ориентацией коридора.

### Результаты исследования и их обсуждение

Чтобы проверить эффективность позиционирования метода, описанного в этой статье, в коридоре были проведены следующие эксперименты. Экспериментатор ходит по центру коридора шириной 2,4 м с мобильным телефоном, и мобильный телефон собирает данные, такие как ускорение, угловая скорость и напряженность магнитного поля с частотой дискретизации 20 Гц. На потолке коридора установлено 5 базовых станций Bluetooth (в среднем по одной каждые 20 м), частота вещания – 10 Гц. Дистанция ходьбы составила 144 м, повторенная несколько раз, со средним временем 2 мин 6 с. (1) Сравните улучшенный PDR с традиционным PDR. Согласно различным методам оценки размера и направления шага, в традиционном PDR есть три схемы, а именно: Схема 1: Используйте изменение ускорения для расчета длины шага (показанного в формуле (2)), используйте компас для расчета направления, наконец, используйте традиционный метод PDR для определения положения каждого шага. Схема 2: Используйте частоту шага (формула (3)) для расчета длины шага, используйте компас для вычисления направления, наконец, используйте традиционный метод PDR для определения положения каждого шага. Схема 3: Используйте частоту шага для расчета длины шага, используйте гироскоп (формула (4)) для вычисления направления и, наконец, используйте традиционный метод PDR, чтобы получить положение каждого шага.

Схема 4: улучшенный PDR в этой статье использует пять базовых станций Bluetooth для корректировки положения, размера шага и направления PDR, тем самым уменьшая совокупную ошибку PDR.

На рис. 2 показана предполагаемая траектория. Видно, что эффект четырех схем на начальном этапе позиционирования очень хороший, но со временем схема позиционирования на основе традиционной ПДР постепенно отклоняется от реальной траектории из-за накопления ошибок,

а схема 4 (улучшенный PDR в этой статье) использует базовую станцию Bluetooth. PDR периодически корректируется, что гарантирует, что расчетная траектория всегда близка к истинной траектории. Кроме того, по сравнению с традиционной схемой PDR видно, что оценка направления схемы 1 и схемы 2 исходит от компаса, но точность позиционирования схемы 1 выше, чем у схемы 2, что указывает на то, что оценка размера шага модель по частоте шагов хуже модели оценки величины шага по ускорению, по сравнению со схемой 2 схема 3 лучше работает на начальном этапе позиционирования, но по мере накопления ошибок гироскопа эффект позиционирования постепенно уступает схеме 3, который использует компас для оценки направления, что дополнительно подтверждает вышеупомянутую точку зрения. Точность позиционирования компаса выше, чем у гироскопа после длительного времени.

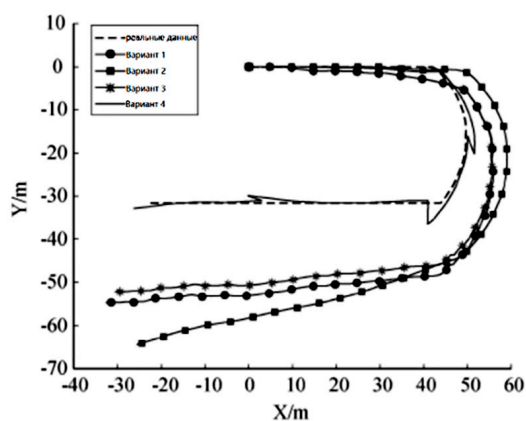


Рис. 2. Сравнение расчетной траектории четырех схем

На рис. 2 показана ошибка позиционирования каждого шага в эксперименте, видно, что ошибка позиционирования схемы 4 исправляется один раз в определенный период времени, а всего делается 5 исправлений (приходя на 18, 68, 104 и 104-й шаги соответственно), шаги 138 и 198, эффективно контролируемые максимальной ошибкой позиционирования в пределах 5 м. На рис. 3 показана кумулятивная кривая распределения ошибки позиционирования (то есть вероятность того, что ошибка позиционирования меньше определенного значения), а на рис. 4 приведены средние значения ошибки позиционирования, максимальной ошибки позиционирования и среднеквадратической ошибки четырех схем. Можно увидеть, что коррекция пика Bluetooth может эффективно уменьшить ошибку позиционирования небольшого PDR.

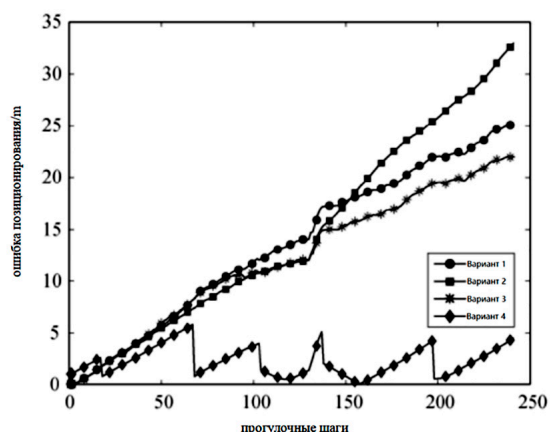


Рис. 3. Ошибка на шаг

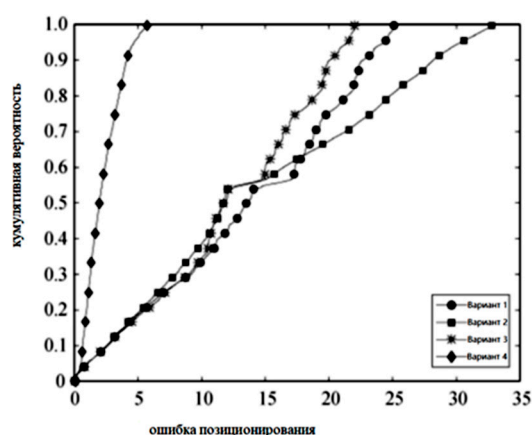


Рис. 4. Кумулятивная кривая распределения вероятности ошибки позиционирования

### Заключение

Традиционный PDR не зависит от какой-либо инфраструктуры и может обеспечить непрерывные и стабильные результаты позиционирования, но существует проблема накопленных ошибок. В этой статье предлагается улучшенный метод позиционирования PDR, основанный на коррекции пика Bluetooth, который корректирует PDR

по трем аспектам: положение, шаг размер и направление.

### Список литературы

1. He S., Chan S.H.G. Wi-Fi fingerprint-based indoor positioning: recent advances and comparisons // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016. № 18 (1). P. 466–490. DOI: 10.1109/COMST.2015.2464084.
2. Canton Paterna V., Calveras Auge A., Paradells Aspas J. A Bluetooth low energy indoor positioning system with channel diversity weighted trilateration and Kalman filtering // Sensors. 2017. № 17 (12). DOI: 10.3390/s17122927.
3. Абрамович Б.Н. Система бесперебойного электропитания предприятий горной промышленности // Записки Горного института. 2018. Т. 229. С. 31. DOI: 10.25515/rmi.2018.1.31.
4. Абрамович Б.Н., Богданов И.А. Повышение эффективности автономных электротехнических комплексов нефтегазовых предприятий // Записки Горного института. 2021. Т. 249. С. 408–416. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.10.
5. Kang W., Han Y. Smart PDR: Smartphone-based pedestrian dead reckoning for indoor localization // IEEE Sensors Journal. 2014. № 15 (5). P. 2906–2916. DOI: 10.1109/JSEN.2014.2382568.
6. Xie H., Gu T., Tao X. A practical magnetic fingerprinting approach to indoor localization using smartphones // International Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing. 2014. P. 243–253. DOI: 10.1145/2632048.2632057.
7. Сычев Ю.А., Зимин Р.Ю. Повышение качества электроэнергии в системах электропитания минерально-сырьевого комплекса гибридными фильтрокомпенсирующими устройствами // Записки Горного института. 2021. Т. 247. С. 132–140. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.14.
8. Li X., Wang J., Liu C. A Bluetooth/PDR integration algorithm for an indoor positioning system // Sensors. 2015. № 15 (10). P. 24862–24885. DOI: 10.3390/s151024862.
9. Zhang M., Shen W., Yao Z. Multiple information fusion indoor location algorithm based on WIFI and improved PDR // 35th Chinese Control Conference. 2016. P. 1–12. DOI: 10.1109/ChiCC.2016.7554144.
10. Wu X., Shen R., Fu L. Using iBeacon and inertial sensors for accurate indoor localization in large open areas // IEEE Access. 2017. № 5. P. 14589–14599. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2726088.
11. Wang X., Jiang M., Guo Z. An indoor positioning method for smartphones using landmarks and PDR // Sensors. 2016. № 16 (12). P. 2135. DOI: 10.3390/s16122135.
12. Sychev Y.A., Abramovich B.N., Prokhorova V.B. The assessment of the shunt active filter efficiency under varied power supply source and load parameters // International Journal of Electrical and Computer Engineering. 2020. № 10. Т. 6. P. 5621–5630. URL: <http://hdl.handle.net/10995/90434> (дата обращения: 01.08.2023).



УДК 69.058:69.009.1

## ПРЕИМУЩЕСТВА СОВРЕМЕННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ – КУЗБАССА

Щербакова Л.Н., Федулова Е.А., Рада А.О.

*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово,  
e-mail: rada.ao@kemsu.ru*

В работе представлен анализ влияния современных инновационных изменений на качество результатов строительной отрасли, в частности выделен аспект применения ГИС-технологий. Целью работы стало выявление возможных положительных последствий для регионального строительства в случае применения ГИС-технологий. Рассмотрен термин «геоинформационная система» (географическая информационная система) как система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах. Показаны варианты применения геоинформационной системы, в том числе в строительстве, на примере их взаимосвязи с базовыми инновационными направлениями отрасли. Решение масштабных задач развития региона с помощью современных геоинформационных систем изучено на примере Кемеровской области – Кузбасса, названы преимущества и положительные последствия, которые получит регион в случае использования ГИС-технологий, включая систему строительного мониторинга, внешнего строительства, применения робототехники и 3D-печати, подключенной строительной площадки. Выявлены такие положительные результаты, как сокращение отходов, повышение эффективности работы персонала и управленческих структур, завершение проекта в срок, автоматизация процесса строительства, снижение потребности в ручной рабочей силе, совершенствование логистики, увеличение безопасности рабочих.

**Ключевые слова:** информационная система, строительный мониторинг, подключенная строительная площадка, внешнее строительство, Кемеровская область – Кузбасс, преимущества и положительные последствия ГИС-технологий

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, заключенное между Минобрнауки России и Федеральным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кемеровский государственный университет».*

## ADVANTAGES OF MODERN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN CONSTRUCTION ON THE EXAMPLE OF THE KEMEROVO REGION – KUZBASS

Scherbakova L.N., Fedulova E.A., Rada A.O.

*Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: rada.ao@kemsu.ru*

The paper presents an analysis of the impact of modern innovative changes on the quality of the results of the construction industry, in particular, the aspect of the application of GIS technology is highlighted. The aim of the work was identified the positive consequences for regional construction in the case of the use of GIS technologies. The term “geographic information system” or geographic information system as a system for collecting, storing, analyzing and graphically visualizing spatial (geographical) data and related information about the necessary objects is considered. The options for the use of the geographic information system, including in construction, are shown on the example of their relationship with the basic innovative directions of the industry. The solution of large-scale tasks of the region’s development with the help of modern geographic information systems has been studied on the example of the Kemerovo region-Kuzbass, the advantages and positive consequences that the region will receive in the case of using GIS technologies, including a construction monitoring system, external construction, the use of robotics and 3D printing, and a connected construction site are named. Revealed the same such positive results as reducing waste, increasing the efficiency of personnel and management structures, completing the project on time, automating the construction process, reducing the need for manual labor, improving logistics, and increasing the safety of workers were revealed.

**Keywords:** geographic information systems, construction monitoring, external construction, connected construction site, Kemerovo region – Kuzbass, advantages and positive consequences of GIS technologies

*The work was carried out with the financial support of the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, agreement No. 075-15-2022-1195 dated September 30, 2022, concluded between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the federal budgetary educational institution of higher education «Kemerovo State University».*

Строительная отрасль достаточно долго считалась консервативной. Ряд технологий строительства домов веками сохранялись неизменными. Однако современные инновационные изменения коснулись и строительной отрасли, прежде всего речь идет о внедрении цифровых технологий в производственные процессы [1].

Отдельного внимания заслуживают так называемые ГИС-технологии. ГИС – «геоинформационная система», или географическая информационная система, – это система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах [2]. Геоинформационная система может быть представлена в другом, более узком смысле, в качестве программного продукта, служащего цели поиска, анализа цифровой карты местности либо дополнительной информации об определенных объектах.

Геоинформационные системы применяются в самых разнообразных отраслях деятельности, таких как инженерная геодезия и землеустройство, экология и природопользование, региональное планирование, управление городским хозяйством, маркетинг, демография. История развития систем началась в 1950-х гг. В течение данного периода ГИС прошли сложную эволюцию развития, в результате чего было сформировано много разновидностей геоинформационных технологий. В состав геоинформационной системы входят достаточно распространенные этапы движения информации: нахождение и обработка данных; ввод и размещение сведений; управление данными. Геоинформационные системы служат цели решения сложных теоретических проблем и прикладных задач в географических и геологических инженерных изысканиях, разработке месторождений; инфраструктурном проектировании; навигации для транспорта.

Географические информационные системы можно классифицировать по охвату территории, выделяя субконтинентальные, региональные и глобальные.

Информационные географические системы дают возможность запрашивать данные, систематизировать их, удалять ненужную информацию, обновлять, подвергать анализу. Их функциями является деятельность от сбора информации до распространения картографической и тематической информации. К целевым установкам ГИС относятся моделирование процессов, управление, инвентаризация земель, картографирование, мониторинг, обслуживание пользователей [3].

В настоящее время информационные географические системы нашли применение практически во всех важных сферах деятельности, они дают возможность организациям и структурам выполнять свои функции быстрее и качественнее, и особое место в них отводится отраслям, ошибки в которых обходятся очень дорого. В частности, в таких отраслях, как строительство и прокладка инженерных коммуникаций, даже совсем малое отклонение в расчетах влечет за собой тяжелые последствия, например рост финансовых затрат и падение уровня безопасности. Так, возможна ситуация, когда неправильная оценка уровня залегания и сезонного подъема грунтовых вод в месте строительства здания приводит к подтоплению нижних этажей и даже к разрушению фундамента. А проведение подземной высоковольтной линии, осуществленное без учета близкого нахождения старого магистрального трубопровода, может стать причиной аварии высоковольтной линии. С помощью географических информационных систем возможно избежать подобных ошибок еще на стадии проектирования и подготовки к строительным работам.

Цель исследования – выявить возможные положительные последствия для регионального строительства в случае применения ГИС-технологий.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследование основано на библиографическом поиске и последующем критическом анализе научных публикаций, посвященных проблемам строительного контроля, в том числе с использованием цифровых технологий. Использованы материалы из открытых источников интернета и базы данных РИНЦ. Глубина поиска, учитывая динамизм развития цифровых технологий, была ограничена в основном пятью годами, по отдельным вопросам ГИС в строительстве целесообразно цитирование некоторых более ранних работ.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

*Геоинформационные системы в совокупности инноваций в строительстве.* Геоинформационные системы опираются и тесно взаимосвязаны со всей совокупностью инноваций в строительстве. Карта инноваций в строительстве включает информацию о десяти новых значимых тенденциях строительной отрасли [4, 5]. Предприятия строительной отрасли ведут себя как интегрированный производитель, по этой причине общий жизненный цикл строительства представляют как прозрачный. Огромную

роль в названном процессе играют современное программное обеспечение BIM и облачные технологии в управлении. Достаточно распространенным явлением становится применение строительных роботов, Интернета вещей, дополненной и виртуальной реальности. Отличается большой динамикой и тенденция появления принципиально новых современных строительных материалов.

Первым примером применения новых технологий является информационная модель здания (BIM), предназначение которой состоит в решении определенных задач на основе компьютерной обработки всей информации либо о проектируемом, либо о реальном строительном здании. Информация должна быть обработана в соответствии с определенными требованиями, а именно: она должна быть взаимосвязанной, обязательно иметь геометрическую привязку, должна быть структурирована таким образом, чтобы возможно было на ее основе проводить количественный и качественный анализ. Когда применяются традиционные методы строительства и задействован труд огромного числа людей: строителей, инженеров, архитекторов – то практически невозможно представить, что будет происходить в реальном процессе создания новых объектов, так как каждый участник опирается на свою специфическую информацию. Тем более что формируются несколько разных версий одного и того же плана. Инструментарий BIM снимает названные проблемы, предоставляя единую модель на основе централизованной базы данных. Так, использование 5D BIM дает возможность включить в модель затраты и время, а 6D BIM – учесть энергосбережение. Данный метод действия имеет такое преимущество, как выявление ошибок проектирования до самого этапа строительства, что ведет к экономии материальных затрат и времени.

Технология BIM применена при проектировании строительства, например, в Крыму, а также во многих странах мира. Так, в американском варианте разработаны приложения для BIM-моделей на строительной площадке при использовании облачных вычислений, с помощью которых сохраняются все геометрические формы, текстуры и материалы. В частности, компания BIMCRONE занята разработкой программного обеспечения информационной модели зданий (BIM).

Турецкий BIMCRONE разрабатывает программное обеспечение BIM, что обеспечивает возможность каждому участнику строительного процесса вести наблюдение за ним в режиме реального времени

на единой платформе, осуществлять управление проектами, вести отчетность по ним.

Вторым примером инновационных разработок в строительстве является внешнее строительство. Данное явление заключается в том, что строительные элементы проектируются, изготавливаются на предприятии до начала строительного цикла, что исключает влияние природных условий на процесс их создания и значительно сокращает величину материальных отходов. То есть внешнее строительство вносит полезный вклад в жизненный цикл строительства, принося рост эффективности, качества конечной продукции и безопасности работников. Оно опирается на современные технологии в виде применения инновационных материалов, 3D-печати, а также принципиально новых методов сборки.

Внеплощадочное строительство включает в себя модульную и контейнерную конструкцию. Модульным методом производятся тяжелые трехмерные конструкции, в том числе комнаты и даже дома. Контейнерная конструкция, прежде всего, является панельной конструкцией, то есть опирается на производство плоских панелей для стен, крыши, пола, в определенных случаях – для перегородок и опорных элементов. Модульные решения позволяют строить сборные дома.

Важным направлением инноваций в строительстве выступает применение робототехники соответствующего направления. Строительство – трудоемкая отрасль, в которой совершается масса операций, связанных с физическими нагрузками и монотонностью. Применение строительной робототехники возможно при автоматизированной кладке кирпича, проведении сварочных работ, связывании арматуры, покраске огромных объемов пространства, подъеме тяжелых с помощью искусственного интеллекта и компьютерного зрения [6]. В результате снижается риск травм, экономится время, повышается производительность труда.

Четвертым слагаемым инновационного развития строительной отрасли является 3D-печать. Существуют специальные строительные принтеры, которые могут производить как отдельные части зданий, так и цельные конструкции. Печать осуществляется различными способами, в частности путем аддитивной сварки, экструзии и силового склеивания. Преимуществом трехмерной строительной печати является сокращение отходов и потребности в трудовых ресурсах по сравнению с традиционными методами строительства.

Примером разработки и управления проектами 3D-печати для архитектуры и строительства является голландская фирма Twente

Additive Manufacturing. Она применяет разнообразные технологии 3D-печати, в том числе треугольник, портал, а также поворотный рычаг и стрелу, где используются 3D-принтеры со всевозможными конфигурациями и осями. Деятельность фирмы опирается на принтеры разных масштабов: средние, мобильные, принтеры начального уровня. Некоторые американские фирмы ориентированы на создание роботов для печати из бетонной смеси.

Пятым направлением инновационной деятельности в строительстве выступает непосредственно управление строительным объектом. Это направление является очень перспективным, поскольку оно опирается на облачное программное обеспечение [7]. В самом содержании управления проектом изначально заложены принципы для каждого из этапов строительства. Начальный этап характеризуется применением алгоритмов прогнозирования с помощью искусственного интеллекта для осознания возможности реализации проекта. Впоследствии менеджер проекта выбирает целевые ориентиры и формирует план распределения ресурсов при посредстве программного обеспечения. Широкое использование облачных технологий дает еще и такие преимущества, как прозрачность и хранение больших объемов данных. Программное обеспечение такого уровня позволяет выявить и сравнить ожидаемые и фактические результаты каждой производственной задачи, а также аккумулировать информации об узких местах. Уже на завершающих стадиях проекта менеджеры оформляют смарт-контракты, опирающиеся на технологии блокчейна, для того чтобы утвердить юридические обязательства и не допустить финансового мошенничества. Подводя итог, можно отметить, что управление проектами цифрового строительства обеспечивает следующие положительные результаты: сокращение отходов, рост гарантий по завершению проекта в срок, повышение эффективности работы персонала.

В ряде случаев (например, в английском бизнесе) генерируются смарт-контракты для определенного направления менеджмента, а именно управления расчетом заработной платы в строительстве. Полезный эффект состоит в уменьшении времени между сроком завершения работы и оплатой. В определенной степени облегчается административная нагрузка управленцев, а непосредственно управление финансовыми потоками становится более эффективным в строительной отрасли.

Израильский бизнес отличился созданием программного обеспечения для управле-

ния проектами в реальном времени. В частности, компьютерное зрение применено для улучшения видимости строительной площадки. На основе искусственного интеллекта, машинного обучения и робототехники происходит наблюдение за каждой производственной операцией на строительной площадке с помощью виртуальных инженеров. Заложены алгоритмы работы предполагает сравнение объекта с ожидаемыми данными, предоставление по требованию обзора графиков проектов, выявление и показ превышения бюджета и возможных рисков. Как итог, руководителям проектов на основе используемой платформы удастся получить необходимую для анализа информацию, оптимизировать процессы строительства благодаря получению актуальной, полной и своевременной информации по всем текущим проектам.

Следующим, шестым направлением выступает применение в строительстве современных строительных материалов. Старые традиционные материалы заменяются новыми, экологичными, зачастую напечатанными на 3D-принтере. Так, на первый план выходит самовосстанавливающийся бетон, изготовленный из живых организмов. Применяются экологически чистые материалы, в частности композиты с мицелием, биопластики и т.д. Появился целый класс инновационных материалов с высокой вододерживающей способностью, к нему относятся графен, углеродные композиты, паучий шелк, гидрокерамика и наноматериалы. У ряда современных деревянных и алюминиевых материалов сформированы свойства высокой прочности и способности к биологическому саморазложению, в этот перечень включены бамбук, прозрачная древесина, поперечно-клееная древесина, пена алюминия. Поиск продолжается в направлении разработки таких материалов, которые не требуют особого ухода. Испанский бизнес работает над созданием новых материалов на основе графена с целью выработки таких свойств строительных материалов, как огнестойкость, неизменность цвета снаружи, сопротивление распространению микроорганизмов. Новозеландская компания Future Forest Products предлагает новые решения для изделий из древесины. Ученые пытаются придать строительным материалам следующие характеристики: долговечность, сейсмостойкость, прочность, огнестойкость, контроль над влажностью, гибкость конструкции.

Седьмым направлением является решение вопроса о безопасности рабочих. Затраты на содержание рабочей силы – значимая статья расходов компаний, поэтому стро-



ительные предприятия стремятся к тому, чтобы всячески сократить ее, в том числе путем экономии на безопасности работников. Использование новых современных технологий помогает уменьшить число несчастных случаев на строительной площадке. С помощью искусственного интеллекта стало возможно прогнозировать опасности и, соответственно, своевременно реагировать на них. Так, работники компании имеют средства индивидуальной защиты, которые встроены в датчики Интернета вещей. Датчики способны получить сигналы, которые поступают в виде вибрации, частоты пульса, температуры, шагов и т.д. Менеджеры своевременно могут отреагировать и удаленно принять меры к устранению опасностей. Возможен вариант применения «умных часов», суть которых состоит в том, что они фиксируют условия труда и отсылают менеджеру актуальнейшую информацию, по сути дела, отчеты о состоянии здоровья.

Следующим, восьмым направлением инновационной деятельности в строительстве является механизм подключенной строительной площадки. Как известно, строительный процесс включает множество динамических элементов, комплексный мониторинг, анализ и контроль всех частей обеспечивает результат в виде успешного завершения проекта. Создание подключенных строительных площадок соответствует реализации данного требования. Подключенные строительные площадки соединяют воедино работников, информацию и сам процесс деятельности при посредстве робототехники, технологии Интернета вещей, искусственного интеллекта. Полезный эффект выражается в совершенствовании логистики, обеспечении большей безопасности рабочих в процессе строительства, в оптимизации величины запасов и сокращении затрат. Компьютерное зрение способствует своевременной связи руководства со стройкой, соединения строительных площадок с головным офисом.

Следующим, девятым направлением инновационных преобразований строительства является так называемое «зеленое» строительство. Строительная деятельность в современных условиях вовлечена в тенденцию устойчивого развития. «Зеленые» здания получают подтверждение с помощью различных сертификатов, один из самых значимых – сертификат LEED, то есть «Лидерство в энергетике и экологическом дизайне». Зеленое строительство предполагает поддержку окружающей среды на всех этапах строительства: от его планирования до завершения проекта и даже вывода зда-

ний из эксплуатации. Экологическая направленность строительной деятельности приводит к эффективному использованию энергии и ресурсов, падению величины отходов строительства, доведению объема выбросов углерода до нулевого уровня. Тем более что все большее количество современных материалов, применяемых в строительстве, получают сертификаты LEED.

Десятым направлением инновационных процессов в строительстве является строительный мониторинг. Поскольку строительный процесс представляет собой массу географически разбросанных локаций, опирается на огромное количество трудовых и материальных ресурсов, то контролировать его традиционными методами очень сложно. Современные строительные компании внедряют новые технологии для мониторинга строительства, так, применяются дроны, термодатчики, камеры высокой четкости, методы распознавания лиц на основе искусственного интеллекта, чему способствуют встроенные сенсорные технологии. Мониторинг может быть применен в разных случаях, от упрощенной функции аудита до обеспечения качества [8].

*Роль географических информационных систем в строительстве Кемеровской области (Кузбасса).* Для успешного развития страны в целом и отдельных ее регионов необходим комплексный подход, опирающийся на внедрение инновационных технологий. Очень важным аспектом является подробное, достоверное описание региона, для этого необходимо использование географических информационных систем национального масштаба. Передовые геоинформационные системы, базирующиеся на трехмерном представлении информации, способны внести существенный вклад в генеральный план развития территории, совершенствование градостроительства, природного ландшафта. Так, по оценкам, создание и внедрение 3D-ГИС в регионах уже в первые два года может обеспечить следующие результаты: сокращение бюджетных средств путем устранения дублирующих функций существующих систем на 15–25%; рост эффективности учета земель и объектов недвижимости на 15–20%; возрастание налоговых поступлений с земли и недвижимости на 20–50%; увеличение скорости и эффективности принятия управленческих решений, снижение количества ошибочных решений на 20–40% [9].

Так, для Кемеровской области (Кузбасса) очень актуальным является решение проблемы застройки городов и оптимальная организация жилищного строительства. Генеральный план г. Кемерово включает



следующие цели: во-первых, завершить формирование планировочных районов; во-вторых, развивать определенные направления генерального плана [10]. В частности, планируется масштабное изменение города за счет того, что на месте частного сектора, находящегося практически в центре города, появятся новые микрорайоны с объектами инфраструктуры. В результате массовой реконструкции района планируется построить 10 микрорайонов на 120 тыс. чел. [11]. Национальный проект изменит облик города. Применение новых технологий неизбежно, так как для будущего строительного фонда нужны новые инженерные сети, требуется проложить тепломагистрали и электрические кабельные линии, построить ливневки с очистными сооружениями, канализацией и т.д.

В рамках развития туризма в Кузбассе планируется комплексное развитие территории СТК «Шерегеш» в качестве самого крупного в России по площади территорий, объемам строительства и инвестиций центра отдыха (427 га). Комплексное развитие территории курорта Шерегеш в Таштагольском районе Кемеровской области предусмотрено программой социально-экономического развития Кемеровской области – Кузбасса до 2024 г., объем инвестиций составляет 112 млрд руб. [12].

Предполагается выполнение следующих показателей: построить 37 апарт-комплексов, 7585 апартаментов, 4 подъемника, 5 км новых трасс. То есть программа включает развитие внешней инфраструктуры: кафе и ресторанов, спортивных объектов, супермаркетов, образовательных и развлекательных площадок. Будет уделено внимание новым современным подъемникам, детским безопасным трассам, горнолыжным спускам, снегоходным трассам общей площадью 1044 тыс. м<sup>2</sup> [13]. Одним из направлений программы будет озеленение территорий на основе авторского ландшафтного оформления.

Поставленные цели развития региона предполагают серьезные шаги в развитии инфраструктуры региона, так, планируется обновление подвижного состава общественного транспорта, в том числе развитие электротранспорта и улучшение инженерной инфраструктуры; реконструкция системы водоснабжения СТК «Шерегеш» и Шерегешского городского поселения; строительство объездной дороги пгт Шерегеш – гора Мустаг; законодательное регулирование снегоходного туризма в Российской Федерации и запуск «пилотного» проекта по развитию снегоходного туризма; реконструкция международного аэропорта Кеме-

рово (в части федеральных объектов); реконструкция левобережной дамбы на реке Томь в районе Междуреченского городского округа.

Сложные, масштабные поставленные задачи развития региона соответствуют возможностям современных геоинформационных систем: они дадут возможность аккумулировать всю пространственную информацию по Кузбассу о деятельности градостроительного комплекса в едином хранилище (карты, планы, фото, чертежи, измерения и т.п.); всю изыскательскую и проектную документацию в едином хранилище; предоставят проектировщикам единую актуальную картографическую основу и доступ к проектным решениям других проектных организаций; обеспечат возможность мониторинга любых изменений по документам проектирования; предоставят моделирование и сравнение разных вариантов проектов; обеспечат успешное поступление информации контролирующим организациям и информационное взаимодействие с системами управления строительной компании и с государственными и муниципальными службами.

В рамках применения геоинформационных систем в реализации целей реконструкций Кемеровской области – Кузбасса большую помощь окажет система строительного мониторинга, внешнего строительства, применения робототехники и 3D-печати, подключенной строительной площадки, применение новых строительных материалов. Использование данных технологий обеспечит такие положительные результаты, как сокращение отходов, а также повысит эффективность работы персонала и управленческих структур, будет способствовать завершению проекта в срок, автоматизирует процесс строительства, снизит потребность в ручной рабочей силе, усвоит логистику, увеличит безопасность рабочих в процессе строительства, внесет свой вклад в «зеленое» строительство.

### Заключение

В проведенном обзоре, во-первых, выявлена специфика применения геоинформационной системы в строительстве, во-вторых, использование ГИС-технологий изучено во взаимосвязи с базовыми инновационными направлениями отрасли: строительного мониторинга, внешнего строительства, применения робототехники и 3D-печати, подключенной строительной площадки. В-третьих, рекомендовано решение масштабных задач строительной отрасли региона Кемеровской области – Кузбасса осуществлять при помощи ГИС-технологий,

которые несут такие положительные результаты, как сокращение отходов, повышение эффективности работы персонала и управленческих структур, завершение проекта в срок, автоматизацию процесса строительства, снижение потребности в ручной рабочей силе, совершенствование логистики, увеличение безопасности рабочих.

#### Список литературы

1. Щербакова Л.Н. Структурные деформации как компонент инновационного развития // ЭКО. 2019. № 2 (536). С. 22–35.
2. ГИС-технологии в строительстве и проектировании инженерных коммуникаций. [Электронный ресурс]. URL: <https://radixtools.ru/publish-gis-tech> (дата обращения: 22.08.2023).
3. ГИС – геоинформационные системы в строительстве. [Электронный ресурс]. URL: <https://nextgis.ru/gis-portal-otraslyam/gis-geoinformacionnye-sistemy-v-stroitelstve/> (дата обращения: 22.08.2023).
4. 10 технологий будущего, меняющих строительную отрасль прямо сейчас. [Электронный ресурс]. URL: <https://pacs.ru/blog/tehnologii/10-tehnologiy-budushchegomenyayushchikh-stroitelnyu-otrasl-priamo-seycha> (дата обращения: 22.08.2023).
5. Обломов И. Тренды в строительстве 2023, которые повлияют на будущее отрасли // Эксперт в строительной отрасли. [Электронный ресурс]. URL: [troysps.ru/news/trendy-v-stroitelstve-2023-kotorye-povliyayut-na-budushchee-otrasli](https://troysps.ru/news/trendy-v-stroitelstve-2023-kotorye-povliyayut-na-budushchee-otrasli) (дата обращения: 22.08.2023).
6. Строительные работы в 2023 году: перспективы и тренды. [Электронный ресурс]. URL: <https://strahovkunado.ru/news/stroitelnye-raboty-v-2023-godu-perspektivy-i-trendy.htm> (дата обращения: 22.08.2023).
7. Емельянова Е., Лапочкина В. Научные кадры России: тенденции, проблемы, перспективы // ЭКО. 2022. Т. 52, № 4. С. 31–56.
8. Устинова Л.Н., Устинов А.Э., Вирцев М.Ю. Анализ взаимосвязи инноваций и показателей строительной отрасли Российской Федерации // Креативная экономика. 2022. Т. 16, № 6. С. 2395–2410.
9. Глушков В.П. Применение геоинформационных технологий в интересах социально-экономического развития регионов. [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/78/451/55241.php> (дата обращения: 23.08.2023).
10. Генеральный План города Кемерово до 2032 года, утвержденный решением Кемеровского городского Совета народных депутатов от 24.06.2011 № 36 (в ред. от 30.09.2022) [Электронный ресурс]. URL: <https://mgis42.ru/node/536> (дата обращения: 26.08.2023).
11. Чернышев К. Демографическая динамика крупнейших городских агломераций России // ЭКО. 2022. Т. 52, № 4. С. 81–93.
12. Программа социально-экономического развития Кемеровской области – Кузбасса до 2024 г. Распоряжение правительства РФ от 06.03.2021 № 556-р (ред. от 27.12.2022) [Электронный ресурс]. URL: <https://e-ecolog.ru/docs/l2d3dFnDgdY9qdr6QIzJf/33> (дата обращения: 22.08.2023).
13. Проект развития горнолыжного курорта «Шерегеш» презентовали на форуме «Россия – спортивная держава». [Электронный ресурс]. URL: <https://ngs.ru/text/gorod/2022/09/30/71696288> (дата обращения: 22.08.2023).