

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.13.71.006

УДК 551.583; 662.764; 504.054

© Е.А. Уткаев, Е.А. Салтымаков, Е.С. Снетова, 2023

**Е.А. УТКАЕВ**

канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: utkaev@mail.ru

**Е.А. САЛТЫМАКОВ**

Ведущий инженер лаборатории ресурсов  
и технологий извлечения угольного метана  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: easaltymakov@yandex.ru

**Е.С. СНЕТОВА**

ведущий инженер  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: katya.snetova.97@mail.ru

## РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО УЧЕТА ВЫБРОСОВ ШАХТНОГО МЕТАНА В АТМОСФЕРУ

*Рассмотрена проблема фугитивных выбросов парниковых газов и комплекс мер по ее решению. Обоснована необходимость разработки цифровой платформы. На основе анализа выбран наиболее эффективный язык программирования для реализации цифровой платформы мониторинга фугитивных выбросов парниковых газов. Приведены основополагающие критерии при выборе инструмента для создания серверной и клиентской частей цифровой платформы.*

Ключевые слова: ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА, ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ, ИСТОЧНИКИ ВЫБРОСОВ, ФУГИТИВНЫЕ ВЫБРОСЫ, МЕТАН, ЭНЕРГЕТИКА.

Фугитивные выбросы парниковых газов являются серьезной экологической проблемой в современном мире. Эти выбросы происходят посредством попадания газов в атмосферу во время производства, транспортировки и хранения ископаемых видов топлива, таких как уголь, нефть и природный газ. Они также могут быть вызваны другими промышленными процессами, такими как химическое производство, выплавка металлов или производство цемента [1, 2]. Из-за высоких концентраций углекислого газа (CO<sub>2</sub>) и других загрязняющих веществ (метан CH<sub>4</sub>, закись азота N<sub>2</sub>O) в атмосфере происходит по-

вышение температуры ее нижних слоев, так называемый парниковый эффект, приводящий к изменению климата.

Наиболее эффективным способом снижения уровня фугитивных выбросов является реализация комплекса мероприятий, направленного на их источник. К таким мероприятиям можно отнести:

- модернизация (замена старого на новое) оборудования с целью повышения его эффективности и производительности, минимизируя при этом утечки парниковых газов;
- увеличение частоты обслуживания существующей инфраструктуры;

- при технической возможности без потери производственных мощностей использование альтернативных источников энергии на основе энергоэффективных технологий;

- усовершенствование мер безопасности на объектах хранения и транспортировки ископаемых источников энергии;

- последнее, но не по значимости, разработка современных систем мониторинга, позволяющие автоматизировать процесс контроля за фугитивными выбросами [3–5].

Даже на фоне постоянного совершенствования методического инструментария существующие подходы к определению количества выбросов в угольной отрасли не в полной мере учитывают объемы парниковых газов. Так, например, при подземной добыче угля из-за больших глубин расположения рабочих угольных пластов необходимо контролировать метанообильность [6, 7]. В свою очередь, зависимость метанообильности от глубины определяется с поправкой на фильтрационные свойства угля. Разработка цифровой платформы мониторинга фугитивных вы-

бросов парниковых газов позволит автоматизировать расчеты увеличивающегося с учетом вышеизложенного массива данных для дальнейшего ретроспективного и прогнозного анализа эмиссии метана и углекислого газа с целью ее сокращения при использовании чистых угольных технологий, направленных на деструкцию и утилизацию шахтного метана [8–10].

В рамках реализации цифровой платформы мониторинга фугитивных выбросов парниковых газов выполнено обоснование выбора технологий ее реализации. В первую очередь, выполнен анализ языков программирования (табл. 1), в результате которого выбран один, удовлетворяющий следующим требованиям:

- функциональность;
- интерпретируемость;
- наличие большой базы готовых библиотек для работы с данными;
- объектное ориентирование;
- низкий порог вхождения в понимание синтаксиса;
- высокоуровневая парадигма.

Таблица 1

Анализ языков программирования

Свойства	Язык программирования			
	Ruby	PHP	Java	Python
Основные характеристики	Объектно-ориентированный, интерпретируемый,	Интерпретируемый, сценарный язык	Объектно-ориентированный, интерпретируемый, основан на классах	Функциональный, высокоуровневый, объектно-ориентированный, интерпретируемый
Производительность	Медленнее Python	Быстрее Python и Ruby	Быстрее PHP	Медленнее Java и PHP
Синтаксис	Проще, чем у Java, но сложнее Python	Сложнее, чем у Python	Сложный	Простой
Типизация	Динамическая	Динамическая	Статическая	Динамическая
Область использования	Веб-разработка, искусственный интеллект, машинное обучение, создание игр	Веб-разработка	Веб-разработка и мобильная разработка	Веб-разработка

Таким образом, в рамках анализа языков программирования получены следующие

неравенства их производительности «П» и сложности синтаксиса «С»:

$$P_{\text{Ruby}} < P_{\text{Python}} < P_{\text{PHP}} < P_{\text{Java}} \quad (1)$$

$$C_{\text{Python}} < C_{\text{PHP}} < C_{\text{Ruby}} < C_{\text{Java}} \quad (2)$$

Выполнена выборка более чем из 60-ти языков программирования. В ходе анализа сформирован график их использования более

чем за 20 лет по трем наиболее популярным языкам (рис. 1). Из графика видно, что Java на протяжении почти 15-ти лет был наиболее популярным языком программирования, однако в последние годы около 17 % пользователей отдают предпочтение Python.

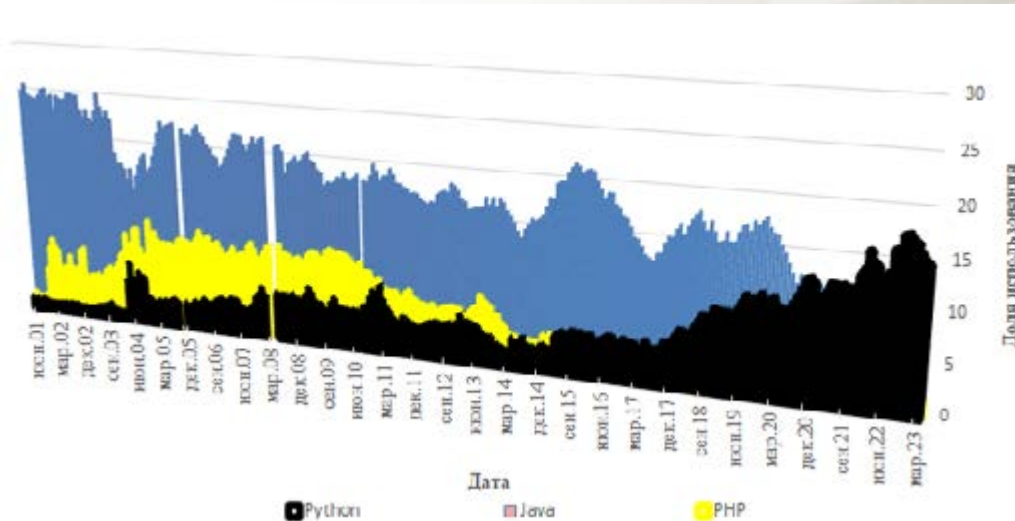


Рис. 1. Использование языков программирования [11]

Анализ языков программирования показал, что наиболее эффективным для реализации цифровой платформы из рассматриваемых языков является Python, характеризующийся удовлетворительной производительностью и простым синтаксисом, а также являющийся высокоуровневым языком программирования с динамической типизацией переменных и времени на разработку и отладку программного кода. Для использования реализованного кода без его дублирования с поддержкой существующего программного обеспечения применен фреймворк Django [12]. Кроме того, что фреймворк Django обеспечивает гибкое управление процессом создания программных продуктов, дополнительно предоставляет защиту веб-приложений от распространенных уязвимостей безопасности.

При выборе инструмента для создания клиентской части цифровой платформы рассмотрены:

- многофункциональная фреймворк-платформа интерфейсной разработки программного обеспечения Angular.js [11].

- библиотека JavaScript с открытым кодом для создания внешних пользовательских интерфейсов React.js [12].

- универсальный фреймворк для создания веб-интерфейсов пользователя Vue.js [12].

Основополагающими критериями при выборе инструмента для создания клиентской части являются организация взаимосвязи веб-приложения с объемной моделью документа DOM [13], а также масштабируемость, связанную с увеличением размера приложения в процессе его дополнения новым функционалом. Использование DOM позволяет динамически управлять веб-страницами при обновлении данных. Критерии выбора представлены на рис. 2.

В рамках сопоставительного анализа изучены данные по количеству скачиваний фреймворков. Результаты объемов скачивания представлены на рис. 3. На протяжении всего рассматриваемого периода (с 04.18 г. по настоящий момент) React является наиболее популярным. В 2023 г. React по количеству скачиваний превысило Angular почти на 50 млн.

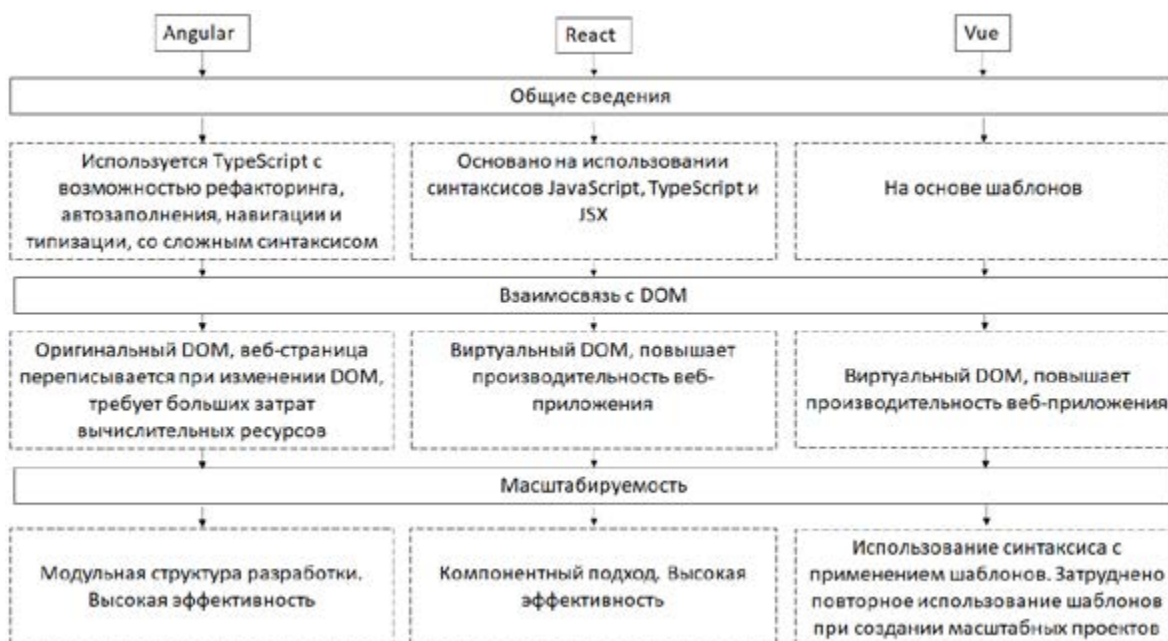


Рис. 2. Особенности фреймворков

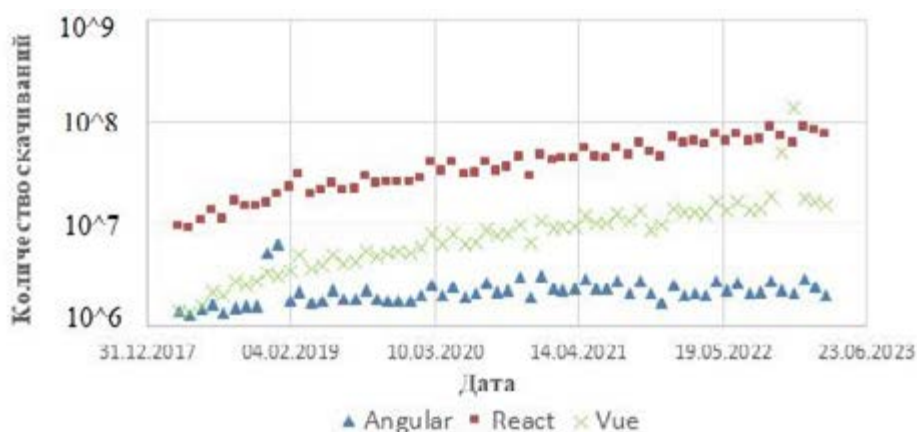


Рис. 3. Изучение частоты использования [16]

В результате анализа особенностей фреймворков, а также с учетом возможности повторного использования элементов, ранее добавленных разработчиком, и расширенного множества шаблонов, готовых решений и приложения для разработки клиентской части цифровой платформы выбран фреймворк React.

В качестве системы управления базой данных в цифровой платформе были рас-

смотрены объектно-реляционная система по созданию и управлению базами данных с открытым исходным кодом, которая предусматривает возможность масштабирования и соответствует стандартам ANSI/ISO — PostgreSQL [14], а также реляционная система для создания и управления базами данных, которая реализована на основе подхода «клиент – сервер» с открытым исходным кодом — MySQL [15] (табл. 2).

Таблица 2

## Сравнение средств управления базой данных

Свойства	Система управления базой данных	
	MySQL	PostgreSQL
Open Source	Открытый исходный код, принадлежащий Oracle	Открытый источник
Соответствие требованиям ACID	Частично соответствует	Полностью соответствует
Поддержка NoSQL/JSON	Поддерживает несколько функций	JSON
Декларативное секционирование	Поддерживаются	Поддерживаются
Логическая репликация	Поддерживаются	Поддерживаются
Оконные функции	Поддерживаются	Поддерживаются
Вложенные запросы	+	+
Транзакции	+	+
Триггеры	+	+
Возможность хранения в памяти	Позволяет хранить только в памяти	Не позволяет хранить в памяти

Сопоставительный анализ систем PostgreSQL и MySQL показал, что наиболее целесообразно использовать для реализации цифровой платформы систему PostgreSQL, позволяющую создавать сложные SQL команды и вложенные подзапросы, выполнять сложные хранимые процедуры, а также расширять базы данных с поддержкой внешних ключей и триггеров.

Таким образом, в результате анализа существующих инструментов программирования установлено, что для реализации цифровой платформы фугитивных выбросов парниковых газов при угледобыче и последующем обращением с углем наиболее целесообразно использовать язык программирования Python с фреймворком Django. Для создания серверной части использование фреймворка React, клиентской части — PostgreSQL.

*Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р (Соглашение № 075-15-2022-1196).*

Использование цифровой платформы для дальнейшего ретроспективного и прогнозного анализа эмиссии метана и углекислого газа с целью ее сокращения при использовании чистых угольных технологий, направленных на деструкцию и утилизацию шахтного метана, является лишь частицей в реализации снижения фугитивных выбросов. Для повышения эффективности мероприятий по снижению фугитивных выбросов, безусловно, правительства всего мира должны работать в тандеме над установлением международных стандартов для контроля уровней фугитивных выбросов из всех источников — как естественных, так и техногенных — во всех странах, участвующих в глобальных торговых соглашениях или иным образом связанных экономическими связями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виды, источники парниковых газов и их влияние на климат Земли. [Электронный ресурс]: Проект по выводу ГХФУ в Российской Федерации. URL: [http://www.ozonепrogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye\\_gazy/](http://www.ozonепrogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye_gazy/) (дата обращения: 06.04.2022).
2. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2019 гг. Часть 1. Москва 2021.
3. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. [Электронный ресурс]: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), официальный портал. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html> (дата обращения 06.04.2022).
4. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации, утвержденные распоряжением Минприроды России от 16 апреля 2015 г. № 15-р. [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании «Консультант Плюс». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/) (дата обращения 11.04.2022).
5. Петренко И.Е., Шинкин В.К. Итоги работы угольной промышленности России за январь–март 2022 года // Уголь. 2022. № 6. С. 6–16.
6. Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Смыслов А.И., Уткаев Е.А. Переработка дегазационного метана в энергетических установках на угледобывающих предприятиях // Горный Информационно-аналитический бюллетень. 2013. Отдельный выпуск № 6 С. 170–176.
7. Tailakov O.V., Zastrelov D.N., Utkaeв E.A., Smyslov A.I., Kormin A.N. Experience for Coal Mine Methane Utilization to Generate Thermal and Electric Power // Taishan Academic Forum – Project on mine Disaster Prevention and Control – Mining 2014. Qingdao, China, 2014. P. 450–454.
8. Артемьев В.Б., Костеренко В.Н., Садов А.П., Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Уткаев Е.А. Извлечение и переработка угольного метана М., 2016. 208 с.
9. Виды, источники парниковых газов и их влияние на климат Земли. [Электронный ресурс]: Проект по выводу ГХФУ в Российской Федерации URL: [http://www.ozonепrogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye\\_gazy/](http://www.ozonепrogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye_gazy/) (дата обращения: 18.04.2023).
10. Коробова О.С., Теоретические аспекты использования потенциала снижения парниковых газов в углепромышленных регионах. М., 2012. 88 с.
11. Tiobe index [Электронный ресурс]: The software quality company. Официальный портал. URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (дата обращения 06.04.2022).
12. Веб-документация Angular [Электронный ресурс]. URL: <https://angdev.ru/doc/setup-and-configuration/> (дата обращения 20.04.2023).
13. Веб-документация React.js [Электронный ресурс]. URL: <https://reactjs.org/docs/getting-started.html> (дата обращения 20.04.2023).
14. Веб-документация Vue.js [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.vuejs.org/v2/guide/index.html> (дата обращения 20.04.2023).
15. Веб-документация Django [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.djangoproject.com/en/4.1/> (дата обращения 20.04.2023).
16. Npm trends [Электронный ресурс]. <https://npm trends.com/angular-vs-react-vs-vue> (дата обращения 20.04.2023).
17. Richardson L. Amundsen M. RESTful Web APIs. O'REILLY, 2013. 404 p.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.13.71.006

UDC 551.583; 662.764; 504.054

© E.A. Utkaev, E.A. Saltymakov, E.S. Snetkova, 2023

**E.A. UTKAEV**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo  
e-mail: utkaev@mail.ru

**E.A. SALTMAKOV**

Lead Engineer,  
Coal Methane Recovery Resources and Technologies Laboratory  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo  
e-mail: saltymakov@uglemetan.ru

**E.S. SNETKOVA**

Senior Engineer  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo  
e-mail: katya.snetova.97@mail.ru

**DEVELOPMENT OF A DIGITAL PLATFORM FOR QUANTITATIVE ACCOUNTING OF MINE METHANE EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE**

*The problem of fugitive greenhouse gas emissions and a set of measures to solve it were considered. The need to develop a digital platform is justified. Based on the analysis, the most effective programming language for the implementation of a digital platform for monitoring fugitive greenhouse gas emissions was chosen. The fundamental criteria are given when choosing a tool for creating the server and client parts of the digital platform.*

Keywords: DIGITAL PLATFORM, GREENHOUSE GASES, EMISSION SOURCES, FUGITIVE EMISSIONS, METHANE, ENERGY.

**REFERENCES**

1. Species, sources of greenhouse gases and their impact on the Earth's climate. [Electronic resource]: HCFC withdrawal project in the Russian Federation. URL: [http://www.ozoneprogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye\\_gazy/](http://www.ozoneprogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye_gazy/) (date of application: 06.04.2022). [In Russ.].
2. National report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol for 1990–2019. Part 1. Moscow 2021. [In Russ.].
3. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. [Electronic resource]: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), official portal. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html> (date of application 06.04.2022). [In Russ.].
4. Methodological recommendations for conducting a voluntary inventory of greenhouse gas emissions in the subjects of the Russian Federation, approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated April 16, 2015 No. 15-R. [Electronic resource]: The official website of the Consultant Plus company. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/) (date of application 11.04.2022). [In Russ.].

5. Petrenko I.E., Shishkin V.K. The results of the work of the coal industry of Russia for January-March 2022 // Coal [Ugol]. 2022. No. 6. P. 6–16. [In Russ.].

6. Tailakov O.V., Strellov D.N., Smyslov A.I., Utkaeв E.A. Processing of degassing methane in power plants at coal-mining enterprises // Mining Information and Analytical Bulletin [Gornyj Informacionno-analiticheskij byulleten]. 2013. Separate issue No. 6 P. 170–176. [In Russ.].

7. Tailakov O.V., Zastrelov D.N., Utkaeв E.A., Smyslov A.I., Kormin A.N. Experience for Coal Mine Methane Utilization to Generate Thermal and Electric Power // Taishan Academic Forum – Project on mine Disaster Prevention and Control – Mining 2014. Qingdao, China, 2014. P. 450–454.

8. Artemyev V.B., Kosterenko V.N., Sadov A.P., Tailakov O.V., Strellov D.N., Utkaeв E.A. Extraction and processing of coal methane M., 2016. 208 p. [In Russ.].

9. Types, sources of greenhouse gases and their impact on the Earth's climate. [Electronic resource]: HCFC Decommissioning project in the Russian Federation URL: [http://www.ozoneprogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye\\_gazy/](http://www.ozoneprogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye_gazy/) (date of application: 18.04.2023). [In Russ.].

10. Korobova O.S., Theoretical aspects of the use of greenhouse gas reduction potential in coal-producing regions. M., 2012. 88 p. [In Russ.].

11. Tiobe index [Electronic resource]: The software quality company. Официальный портал. URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (дата обращения 06.04.2022).

12. Web documentation Angular [Electronic resource]. URL: <https://angdev.ru/doc/setup-and-configuration/> (date of application 20.04.2023). [In Russ.].

13. Web documentation React.js [Electronic resource]. URL: <https://reactjs.org/docs/getting-started.html> (date of application 20.04.2023). [In Russ.].

14. Web documentation Vue.js [Electronic resource]. URL: <https://ru.vuejs.org/v2/guide/index.html> (дата обращения 20.04.2023). [In Russ.].

15. Web documentation Django [Electronic resource]. URL: <https://docs.djangoproject.com/en/4.1/> (date of application 20.04.2023). [In Russ.].

16. Npm trends [Electronic resource]. <https://npmtrends.com/angular-vs-react-vs-vue> (date of application 20.04.2023). [In Russ.].

17. Richardson L. Amundsen M. RESTful Web APIs. O'REILLY, 2013. 404 p.