

Методология сравнительной оценки производительности технологий виртуализации для веб-интерфейсов Business Intelligence

М.А. Дегтярев, И.Б. Государев

Национальный исследовательский университет ИТМО,
197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка методологии сравнительной оценки производительности технологий виртуализации для веб-интерфейсов систем Business Intelligence. **Метод.** Анализ существующих подходов к оценке производительности веб-приложений. Сравнительная оценка ключевых метрик производительности и разработка интегрального показателя BI Performance Index (BIPI) для задач бизнес-аналитики. **Результат.** Установлено несоответствие стандартных метрик производительности специфике BI-систем. Разработана методология оценки, включающая систему взвешенных метрик и алгоритм расчета интегрального показателя. Для сравнительной оценки технологий виртуализации в интерфейсах BI-систем предложена методология, основанная на специализированном комплексе метрик (FPS, потребление памяти RAM, количество DOM-нод, First Contentful Paint и Input Latency) и интегральном показателе BI-Performance Index. **Вывод.** Применение методологии позволяет выявлять узкие места производительности и обоснованно выбирать решения, обеспечивающие плавность интерфейса, стабильность работы и минимальную задержку отклика. Дальнейшие исследования будут направлены на проведение сравнительного анализа существующих решений виртуализации с помощью разработанной методологии.

Ключевые слова: бизнес-аналитика, Business Intelligence, виртуализация, производительность, метрика производительности, рендеринг, веб-приложение, методология.

Для цитирования: М.А. Дегтярев, И.Б. Государев. Методология сравнительной оценки производительности технологий виртуализации для веб-интерфейсов Business Intelligence. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2026;53(2):61-68. DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-61-68

Performance evaluation methodology for data virtualization technologies in Business Intelligence web interfaces

M.A. Degtyarev, I.B. Gosudarev

National Research University ITMO,
49 Kronverksky Ave., St. Petersburg 197101, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to develop a methodology for the comparative performance evaluation of virtualization technologies for Business Intelligence system web interfaces. **Method.** Analysis of existing approaches to web application performance evaluation. Comparative assessment of key performance metrics and development of the integral BI Performance Index (BIPI) for business intelligence tasks. **Result.** A discrepancy between standard performance metrics and the specifics of BI systems has been established. An evaluation methodology has been developed, including a system of weighted metrics and an algorithm for calculating the integral indicator. For the comparative evaluation of virtualization technologies in BI system interfaces, a methodology based on a specialized set of metrics (FPS, RAM consumption, number of DOM nodes, First Contentful Paint, and Input Latency) and the integral BI-Performance Index is proposed. **Conclusion.** The application of the methodology makes it possible to identify performance bottlenecks and reasonably select solutions that ensure interface smoothness, operational

stability, and minimal response delay. Further research will be aimed at conducting a comparative analysis of existing virtualization solutions using the developed methodology.

Keywords: business intelligence, Business Intelligence, virtualization, performance, performance metric, rendering, web application, methodology.

For citation: M.A. Degtyarev, I.B. Gosudarev. Performance evaluation methodology for data virtualization technologies in Business Intelligence web interfaces. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2026;53(2): 61-68. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-61-68

Введение. Современные системы бизнес-аналитики (Business Intelligence, BI) занимают ключевое место в поддержке управленческих решений [1-3], обеспечивая обработку и интерпретацию больших объемов данных [4]. Одним из фундаментальных элементов пользовательского интерфейса таких систем являются широкоформатные таблицы, позволяющие эффективно представлять многомерные данные. Однако необходимость визуализации и взаимодействия с массивами информации, насчитывающими тысячи строк и столбцов в режиме реального времени, создает серьезные вызовы для производительности веб-интерфейсов.

Для преодоления этих ограничений повсеместно применяются методы виртуализации рендеринга [5], которые динамически подгружают и отображают только видимую пользователю часть данных. Несмотря на существование ряда популярных решений, таких как AG Grid, React Window, TanStack Virtual и других [6-7], их сравнительная эффективность в контексте специфических нагрузок BI-систем изучена недостаточно.

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что традиционные метрики производительности веб-приложений не всегда адекватно отражают пользовательский опыт при работе с аналитическими интерфейсами, где ключевое значение имеет работа с большими данными в режиме реального времени.

Постановка задачи. Целью исследования является разработка методологии сравнительной оценки производительности технологий виртуализации, учитывающей как технические аспекты работы с большими данными, так и особенности пользовательских сценариев в BI-системах. Создаваемая методология призвана предоставить разработчикам обоснованный инструмент для выбора оптимальной технологии визуализации данных, обеспечивающей наибольшую производительность веб-интерфейсов при работе с задачами бизнес-аналитики.

Методы исследования. Проведен обзор литературных источников, посвященных проблемам производительности веб-приложений, а также аналитической и технической документации, раскрывающей специфику пользовательских сценариев и требований к интерфейсам систем бизнес-аналитики (BI).

Согласно проведенным исследованиям, BI-системы обладают рядом принципиальных отличий от традиционных веб-приложений, что требует особого подхода к измерению их производительности. Эти особенности обусловлены самой природой бизнес-аналитики и спецификой работы с данными в корпоративной среде.

Основываясь на существующих работах и исследованиях, можно выделить ряд основных отличий аналитических BI-приложений от более традиционных веб-приложений, которые и будут влиять на дальнейший выбор метрик производительности:

1. Масштабы корпоративных данных – современные организации генерируют и накапливают огромные объемы структурированной информации, от операционных транзакций до поведенческих метрик. BI-системы должны обеспечивать обработку этих данных, где типичные объемы начинаются от десятков тысяч записей и могут достигать миллионов строк [8].

2. Сложные аналитические операции – в отличие от стандартных веб-приложений, которые зачастую ограничены простыми CRUD-операциями, BI-системы выполняют

сложные аналитические операции – агрегацию, фильтрацию, сложную сортировку. Эти операции требуют существенных вычислительных ресурсов и специфичных подходов к визуализации [9].

3. Техническая сложность на этапе визуализации – представление больших данных в удобной для человеческого анализа форме создает определённые технические сложности на уровне представления. К примеру, отображение таблицы с миллионами строк требует специальных подходов к отображению: наличие виртуализации и динамической подгрузки данных для снижения нагрузки на систему пользователя и на сеть [10]

4. Необходимость обработки в реальном времени – в таких областях как финансовый мониторинг или операционная аналитика критически важна минимальная задержка между поступлением данных и их отображением. Исследования показывают, что даже небольшие задержки в 500 миллисекунд могут существенно влиять на качество принимаемых решений [11].

5. Продолжительные пользовательские сессии – в отличие от кратковременных посещений информационных и развлекательных сайтов, аналитики могут непрерывно работать с BI-системой на протяжении нескольких часов. Это создает повышенные требования к стабильности производительности и управлению ресурсами (особенно памятью) в течение длительного промежутка времени [12].

6. Динамическое обновление данных – корпоративные данные постоянно обновляются, при этом BI-системы должны отражать эти изменения с минимальной задержкой, что требует эффективных механизмов частичного обновления интерфейса и эффективных подходов к рендерингу элементов на странице [10].

7. Сложные и связанные элементы интерфейса – типичный сценарий работы включает одновременное взаимодействие с множеством взаимосвязанных элементов - основная таблица данных, вспомогательные графики, панели фильтров, инструменты детализации. Каждый из этих компонентов должен работать согласованно, не создавая конфликтов в производительности [8].

8. Профессиональные ожидания пользователей – корпоративные аналитики, в отличие от обычных посетителей сайтов, имеют значительно более высокие требования к отзывчивости и точности системы. BI-система является для них профессиональной средой, поэтому необходимо минимизировать задержки при получении данных, при их отображении, взаимодействии с ними, так как такие недостатки существенно снижают продуктивность работы [11].

Эти фундаментальные особенности формируют уникальные требования к оценке производительности BI-систем, выходящие за рамки стандартных метрик веб-приложений.

Обсуждение результатов. Уникальные характеристики BI-приложений требуют особого подхода к выбору метрик для объективной оценки производительности. В среде веб-разработки существует отраслевой стандарт Core Web Vitals, представляющий собой набор стандартизированных метрик для измерения качества пользовательского опыта на веб-страницах.

Ключевыми метриками этого набора являются Largest Contentful Paint (LCP), Cumulative Layout Shift (CLS) и Interaction to Next Paint (INP) [13-15].

Хотя эти метрики считаются стандартом для оценки производительности информационных и коммерческих веб-сайтов и с их помощью можно оценить, насколько обычным пользователям будет комфортно пользоваться классическим веб-сайтом [16], но их прямое применение к сложным веб-приложениям, каковыми являются BI-системы, имеет существенные ограничения:

1. Largest Contentful Paint (LCP) измеряет скорость загрузки основного контента интерфейса [17]. Однако в сложных интерфейсах BI-систем, где контент загружается динамически и часто по запросу пользователя (например, при применении фильтров), понятие крупнейшего элемента размывается. Плавность взаимодействия с уже загруженными

данными становится более важной, чем скорость первоначальной отрисовки одного статического элемента.

2. Cumulative Layout Shift (CLS) оценивает визуальную стабильность, измеряя непреднамеренные сдвиги контента [17].

В то время как стабильность важна, в интерактивных аналитических панелях многие изменения интерфейса являются прямым результатом действий пользователя (добавление виджетов, изменение размеров столбцов). CLS не различает запланированные и незапланированные сдвиги, что делает его менее релевантным для оценки производительности в активно используемом рабочем инструменте.

3. Interaction to Next Paint (INP) измеряет отзывчивость на отдельные пользовательские взаимодействия [17]. Проблема этой метрики заключается в том, что она фокусируется на единичных событиях.

Для BI-систем критически важна не только скорость реакции на одиночное действие (например, клик), но производительность при длительных, последовательных взаимодействиях, таких как непрерывная прокрутка больших таблиц или быстрое переключение между фильтрами.

Таким образом, стандартные метрики, ориентированные на пользовательский опыт при кратковременных посещениях информационных сайтов, не в полной мере отражают производительность профессионального инструмента, каким является BI-система. Они не улавливают такие аспекты, как деградация производительности со временем, эффективность работы с памятью и плавность рендеринга в условиях длительной сессии.

Следовательно, для адекватной оценки необходимы метрики, которые дополняют Core Web Vitals и будут учитывать специфику пользовательских сценариев BI-систем. В рамках данного исследования был выделен следующий набор метрик:

1. FPS (Frames Per Second) – показатель частоты кадров, отражающий плавность визуализации данных. Особенно важен для обеспечения бесперебойной работы с динамическими таблицами и комплексными дашбордами, где низкие значения могут существенно снизить эффективность аналитической работы [18].

2. Потребление памяти (RAM) – метрика, характеризующая эффективность управления ресурсами при обработке больших объемов данных. Критична для поддержания стабильной производительности в течение длительных сессий работы и предотвращения деградации системы при интенсивных вычислениях [12].

3. Количество DOM-нод – показатель сложности DOM-дерева, непосредственно влияющий на производительность рендеринга. В BI-системах с их сложными интерфейсами и большими объемами данных контроль этого параметра позволяет оптимизировать процессы визуализации [19].

4. First Contentful Paint (FCP) – время до появления первого значимого контента. Несмотря на сложность BI-интерфейсов, быстрый FCP важен для формирования положительного первого впечатления и поддержания профессионального доверия к системе [18].

5. Input Latency – задержка между действием пользователя и откликом системы. В контексте аналитической работы, где важна оперативность принятия решений, минимальные значения этой метрики критически важны для сохранения когнитивного потока и продуктивности аналитиков [18]. Данные метрики предлагается применять для проведения объективного сравнительного анализа технологий виртуализации в контексте разработки веб-интерфейсов аналитических BI-приложений.

В табл. 1 представлена систематизация метрик производительности с указанием степени важности, критерия сравнения и его обоснования для контекста BI-систем.

Таблица 1. Систематизация метрик производительности по степени важности для BI-систем

Table 1. Performance metrics systematization by importance for BI systems

Метрика Metric	Степень важности Degree of importance	Критерий сравнения Comparison Criterion	Обоснование степени важности Justification of the degree of importance
FPS (Frames Per Second)	Критическая Critical	Максимизация Maximization	Определяет плавность взаимодействия с данными. Низкий FPS приводит к визуальным подтормаживаниям, что снижает эффективность аналитической работы. Determines the smoothness of interaction with data.
Input Latency	Критическая Critical	Минимизация Minimization	Определяет отзывчивость интерфейса. Высокая задержка уменьшает степень контроля над данными и негативно влияет на продуктивность аналитика. Determines the responsiveness of the interface.
Потребление памяти (RAM) Memory consumption	Высокая High	Минимизация Minimization	Прямо влияет на стабильность работы во время длительных сессий. Утечки памяти приводят к деградации производительности и аварийным завершениям. Directly affects the stability of work during long sessions.
Количество Quantity DOM-нод	Высокая High	Минимизация Minimization	Прямо влияет на скорость рендера страницы. Большое количество узлов замедляет реакцию интерфейса на действия пользователя. Directly affects the page rendering speed.
First Contentful Paint (FCP)	Средняя Average	Минимизация Minimization	Важна для формирования первоначального впечатления о скорости системы. Однако для BI-приложений последующая интерактивность часто важнее. Important for forming an initial impression of the system's speed.

Эти метрики образуют комплексную систему оценки, учитывающую как технические аспекты работы с большими данными, так и особенности профессионального взаимодействия пользователей с аналитическими системами. Их мониторинг позволяет выявлять узкие места производительности, характерные именно для BI-приложений для их своевременного устранения [20]. На основании выбранных метрик для проведения сравнительного анализа технологий виртуализации предлагается методология, основанная на расчёте интегрального показателя производительности – **BI Performance Index (BPI)**.

Поскольку метрики имеют различную размерность и направленность оптимизации (максимизация или минимизация), необходимо привести их к безразмерному виду. Для каждой i -й технологии виртуализации по формуле (1) вычисляется нормализованное значение по каждой j -й метрике:

$$N_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}, & \text{если критерий "максимизация"} \\ -\frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}, & \text{если критерий "минимизация"} \end{cases}, \quad (1)$$

где x_{ij} – измеренное значение j -й метрики для i -й технологии; $\min(x_j)$, $\max(x_j)$ – минимальное и максимальное значения j -й метрики среди всех сравниваемых технологий.

Для учета различной важности метрик в контексте ВІ-систем вводится система весов w_i , основанная на их степени важности из табл.1. Значения весовых коэффициентов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Весовые коэффициенты метрик производительности

Table 2. Weighting factors of performance metrics

Метрика Metric	Весовой коэффициент w_i	Уровень важности
FPS (Frames Per Second)	0.25	Критическая Critical
Input Latency	0.25	Критическая Critical
Потребление памяти (RAM) Memory consumption	0.20	Высокая High
Количество DOM-нод Quantity	0.20	Высокая High
First Contentful Paint (FCP)	0.10	Средняя Average

Тогда интегральный показатель BI Performance Index для i -й технологии рассчитывается по формуле (2) как взвешенная сумма нормализованных значений:

$$BIPi_i = \sum_{j=1}^5 w_i \cdot N_{ij}, \quad (2)$$

где $BIPi_i$ – интегральный показатель производительности для i -й технологии, w_i – весовой коэффициент j -й метрики производительности, N_{ij} – нормализованное значение j -й метрики для i -й технологии.

Таким образом, значение рассчитанного показателя BIPi будет находиться в диапазоне $[0; 1]$, где 1.0 – наилучшая возможная производительность в рамках сравниваемой группы, 0.0 – наихудшая производительность в рамках сравниваемой группы.

Технологии виртуализации ранжируются по убыванию значения BIPi, что позволит наглядно определить наиболее оптимальное решение для задач бизнес-аналитики.

Вывод. В результате проведённого исследования разработана комплексная методология сравнительной оценки технологий виртуализации в контексте ВІ-систем. Методология включает специализированную систему метрик (FPS, потребление памяти RAM, количество DOM-нод, First Contentful Paint и Input Latency) с определением критериев оценки (максимизация или минимизация) и степени важности для задач бизнес-аналитики. Для интегральной оценки технологий виртуализации предложен показатель BI Performance Index (BIPi), рассчитываемый как взвешенная сумма нормализованных значений метрик.

Разработанный подход позволяет проводить объективное сравнение различных технологий виртуализации (таких как, AG Grid, React Window и других) и обоснованно выбирать оптимальное решение для задач бизнес-аналитики.

Полученные результаты создают основу для дальнейших исследований, в частности, для проведения сравнительного анализа производительности технологий виртуализации табличных интерфейсов веб-интерфейсов ВІ-систем и для изучения эффективности подобных технологий на различных типах устройств.

Библиографический список:

1. А.А. Курбатов. Роль систем бизнес-аналитики (BI) с использованием искусственного интеллекта в управлении бизнес-процессами предприятий // Финансовые рынки и банки. – 2025. – № 6. – С. 68-73.
2. Ю.А. Крылова. Разработка системы контроля качества данных на базе платформы класса Business Intelligence// Управление бизнесом в цифровой экономике: Сборник тезисов выступлений, Санкт-Петербург, 21–22 марта 2019 года / Под общей редакцией И.А. Аренкова, М.К. Ценжарик. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2019. – С. 237-240.
3. В.В. Батейщиков. Повышение эффективности деятельности телекоммуникационной компании на основе внедрения решения класса Business Intelligence // Современные достижения молодёжной науки 2020 : сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 22 мая 2020 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства “Новая Наука”, 2020. – С. 38-43.
4. А.Б. Жернаков. Технологии Business Intelligence и их востребованность на рынке труда // Дискурс. – 2018. – № 6. – С. 62-66.

5. М.С. Пирюшов. Исследование оптимизации рендеринга больших списков в Reactjs // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2024. – Т. 9, № 8(46). – С. 57-63.
6. Ag-Grid: документация [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ag-grid.com/> (дата обращения: 27.09.2025)
7. TanStack Virtual: документация [Электронный ресурс]. – URL: <https://tanstack.com/virtual> (дата обращения: 27.09.2025)
8. С.В. Смольникова. Базовые технологии Business Intelligence // Техника и технология современных производств : Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пенза, 12–13 апреля 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2021. – С. 180-183.
9. Van Riet J., Malavolta I., Ghaleb T.A. Optimize Along the Way: An Industrial Case Study on Web Performance // Journal of Systems and Software. – 2023. – Vol. 198.
10. Г.А. Польский, С.Н. Русак. Методы оптимизации производительности веб-сайтов // Теоретические и практические аспекты формирования и развития “новой науки”: Сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2023. – С. 115-117.
11. Qatawneh N. Empirical Insights into Business Intelligence Adoption and Decision-Making Performance During the Digital Transformation Era: Extending the TOE Model in the Jordanian Banking Sector // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2024. – Vol. 10.
12. В.А. Гончар. Сравнительный анализ frontend-фреймворков для применения в системах сервис-ориентированных тематических социальных сетей // Вопросы устойчивого развития общества. – 2022. – № 5. – С. 751-760.
13. Understanding Core Web Vitals and Google [Электронный ресурс]. – URL: <https://developers.google.com/search/docs/appearance/core-web-vitals> (дата обращения: 27.09.2025)
14. Web Vitals [Электронный ресурс]. – URL: <https://web.dev/articles/vitals> (дата обращения: 27.09.2025)
15. Fellingner L. Enhancing user experience: Unveiling the impact of website speed optimisation on user engagement // Journal of Digital and Social Media Marketing. – 2024. – Vol. 11, No. 4. – P. 324.
16. Król K. Internet in the Middle of Nowhere: Performance of Geoportals in Rural Areas According to Core Web Vitals // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2023. – Vol. 12, No. 12. – P. 484.
17. И.А. Стефанова. Современные подходы к ускорению загрузки веб-приложений: сравнительный анализ методов рендеринга и их влияние на ключевые метрики // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков (шифр - МКРНИ) : Сборник материалов XXXVII Международной научно-практической конференции, Москва, 23 мая 2025 года. – Москва: АНО ДПО “Университет ИТБО”, 2025. – С. 230-238.
18. Mohammed R., Addimulam S., Mohammed M.A., Karanam R.K., Maddula S.S., Pasam P., Natakam V.M. Optimizing Web Performance: Front End Development Strategies for the Aviation Sector // International Journal of Reciprocal Symmetry and Theoretical Physics. – 2017. – Vol. 4 – P. 38-45.
19. А.Ш. Нуруллин. Анализ критериев оценки производительности современных высокоуровневых веб-фреймворков на JavaScript // Вестник науки и образования. – 2024. – № 5-2 (148). – С. 33-35.
20. И.А. Мелков. Методы улучшения производительности веб-приложений в условиях высоких нагрузок // Научный форум: сборник статей IX Международной научно-практической конференции – 2024. – С. 22-24.

References:

1. Kurbatov A.A. The Role of Business Intelligence (BI) Systems Using Artificial Intelligence in Managing Enterprise Business Processes. *Financial Markets and Banks*. 2025;6:68-73. (In Russ)
2. Krylova Yu.A. Development of a Data Quality Control System Based on a Business Intelligence Platform // Business Management in the Digital Economy: Collection of Abstracts, Saint Petersburg, March 21–22, 2019 / Ed. by I.A. Arenkov, M.K. Tsenzharik. – Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2019; 237-240. (In Russ)
3. Bateishchikov V.V. Improving the Efficiency of a Telecommunications Company through the Implementation of a Business Intelligence Solution // Modern Achievements of Youth Science 2020: collection of articles of the III International Research Competition, Petrozavodsk, May 22, 2020. – Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership “New Science”, 2020; 38-43. (In Russ)
4. Zhernakov A.B. Business Intelligence Technologies and Their Demand in the Labor Market. *Discourse*. 2018; 6:62-66. (In Russ)
5. Piryushov M.S. Research on Optimization of Large List Rendering in Reactjs. *International Journal of Information Technology and Energy Efficiency*. 2024;9(8(46):57-63. (In Russ)
6. Ag-Grid: Documentation [Electronic resource]. – URL: <https://www.ag-grid.com/> (accessed: 27.09.2025).
7. TanStack Virtual: Documentation [Electronic resource]. – URL: <https://tanstack.com/virtual> (accessed: 27.09.2025).

8. Smolnikova S.V. Basic Business Intelligence Technologies. Technique and Technology of Modern Productions: Collection of articles of the II All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation, Penza, April 12–13, 2021. – Penza: Penza State University, 2021;180-183. (In Russ)
9. Van Riet J., Malavolta I., Ghaleb T. A. Optimize Along the Way: An Industrial Case Study on Web Performance. *Journal of Systems and Software*. 2023;198.
10. Polishsky G.A., Rusak S.N. Methods for Optimizing Website Performance. *Theoretical and Practical Aspects of the Formation and Development of "New Science": Collection of Articles of the International Scientific-Practical Conference*. 2023;115-117. (In Russ)
11. Qatawneh N. Empirical Insights into Business Intelligence Adoption and Decision-Making Performance During the Digital Transformation Era: Extending the TOE Model in the Jordanian Banking Sector. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2024;10.
12. Gonchar V.A. Comparative Analysis of Frontend Frameworks for Use in Service-Oriented Thematic Social Network Systems. *Issues of Sustainable Development of Society*. 2022;5:751-760.
13. Understanding Core Web Vitals and Google [Electronic resource]. – URL: <https://developers.google.com/search/docs/appearance/core-web-vitals> (accessed: 27.09.2025).
14. Web Vitals [Electronic resource]. – URL: <https://web.dev/articles/vitals> (accessed: 27.09.2025).
15. Fellinger L. Enhancing user experience: Unveiling the impact of website speed optimisation on user engagement. *Journal of Digital and Social Media Marketing*. 2024;11(4):324.
16. Król K. Internet in the Middle of Nowhere: Performance of Geoportals in Rural Areas According to Core Web Vitals. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2023; 12(12):484.
17. Stefanova I.A. Modern Approaches to Accelerating the Loading of Web Applications: A Comparative Analysis of Rendering Methods and Their Impact on Key Metrics // Development of Science and Practice in a Globally Changing World under Risk Conditions (code - MKRNP): Collection of Materials of the XXXVII International Scientific-Practical Conference, Moscow, May 23, 2025. – Moscow: ANO DPO "ITBO University", 2025; 230-238. (In Russ)
18. Mohammed R., Addimulam S., Mohammed M.A., Karanam R.K., Maddula S.S., Pasam P., Natakam V.M. Optimizing Web Performance: Front End Development Strategies for the Aviation Sector. *International Journal of Reciprocal Symmetry and Theoretical Physics*. 2017; 4:38-45.
19. Nurullin A.Sh. Analysis of Performance Evaluation Criteria for Modern High-Level JavaScript Web Frameworks. *Bulletin of Science and Education*. 2024;5-2 (148): 33-35. (In Russ)
20. Melkov I.A. Methods for Improving the Performance of Web Applications under High Load Conditions. *Scientific Forum: collection of articles of the IX International Scientific-Practical Conference*. 2024;22-24. (In Russ)

Сведения об авторах:

Дегтярёв Максим Алексеевич, студент факультета программной инженерии и компьютерной техники; dumbusx@gmail.com

Государев Илья Борисович, кандидат педагогических наук, доцент факультета программной инженерии и компьютерной техники; goss@itmo.ru

Information about the authors:

Maxim A. Degtyarev, Student, Faculty of Software Engineering and Computer Technology; dumbusx@gmail.com

Илья В. Gosudarev, Cand. Sci. (Pedagogical), Assoc. Prof., Faculty of Software Engineering and Computer Technology; goss@itmo.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 08.10.2025.

Одобрена после рецензирования/Reviced 29.01.2026.

Принята в печать/Accepted for publication 26.04.2026.