

DOI: 10.32517/0234-0453-2025-40-3-80-87



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТИЗАЦИИ И КЭШИРОВАНИЯ ДАННЫХ В СЕТЯХ ДОСТАВКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А. А. Прокуровский^{1,2} ✉¹ *Московский технический университет связи и информатики, г. Москва, Россия*² *Фирма «1С», г. Москва, Россия*✉ proaa@1c.ru

Аннотация

В статье рассматриваются современные подходы к оптимизации маршрутизации и кэширования данных в сетях доставки образовательного контента (CDN) с использованием отечественного программного обеспечения «1С:Шина». Основное внимание уделено решению проблем высокой нагрузки на каналы передачи данных при массовом подключении пользователей к системам дистанционного обучения.

Предлагается реализация алгоритма маршрутизации на основе модели поведения муравьиных колоний, что позволяет динамически адаптировать пути доставки контента в зависимости от текущей сетевой ситуации. Проведенный эксперимент показал снижение времени доставки данных до 25 % по сравнению с традиционными методами маршрутизации.

Кроме того, в статье представлен разработанный метод кэширования контента с применением нечеткой логики, позволяющий учитывать неопределенность и изменчивость пользовательского спроса. Контент классифицируется по уровням популярности, и на основе этой информации принимается решение о масштабах кэширования. Экспериментальная проверка данного подхода показала рост производительности CDN до 30 % при одновременном снижении избыточной нагрузки на узлы сети.

Полученные результаты подтверждают эффективность предложенных решений и их применимость для построения высокопроизводительных, масштабируемых и интеллектуальных систем доставки контента в условиях реальных нагрузок. Использование отечественного ПО обеспечивает технологическую независимость и адаптацию под специфические требования образовательной инфраструктуры.

Ключевые слова: маршрутизация, кэширование, CDN, нечеткая логика, муравьиный алгоритм, доставка контента, «1С:Шина», дистанционное обучение, оптимизация, образовательные платформы.

Для цитирования:

Прокуровский А. А. Применение методов оптимизации маршрутизации и кэширования данных в сетях доставки образовательного контента на основе отечественного программного обеспечения. *Информатика и образование*. 2025;40(3):80–87. DOI: 10.32517/0234-0453-2025-40-3-80-87.

APPLICATION OF METHODS FOR OPTIMIZING ROUTING AND CACHING DATA IN EDUCATIONAL CONTENT DELIVERY NETWORKS BASED ON DOMESTIC SOFTWARE

A. A. Prokurovskiy^{1,2} ✉¹ *Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia*² *1C Company, Moscow, Russia*✉ proaa@1c.ru

Abstract

The article explores modern approaches to optimizing routing and data caching in content delivery networks (CDNs) for educational systems using domestic software, specifically 1C:Enterprise Service Bus (1C:ESB). The focus is on addressing the challenge of increased network load due to the growing number of users accessing distance learning platforms.

A routing algorithm inspired by ant colony behavior is proposed, enabling dynamic adaptation of content delivery paths based on current network conditions. Experimental results demonstrate a reduction in content delivery time by up to 25 % compared to traditional static routing methods.

In addition, the article presents a developed caching method based on fuzzy logic, which effectively accounts for uncertainty and variability in user demand. Digital content is classified according to popularity levels, and caching decisions are made based on this classification. The experimental evaluation shows that this method can improve CDN performance by up to 30%, while also reducing excessive load on network nodes.

The obtained results confirm the effectiveness of the proposed solutions and their applicability to the development of high-performance, scalable, and intelligent content delivery systems under real-world conditions. The use of domestically developed software ensures technological sovereignty and better alignment with the specific needs of the educational infrastructure.

Keywords: routing, caching, CDN, fuzzy logic, ant algorithm, content delivery, 1C:ESB, distance learning, optimization, educational platforms.

For citation:

Prokurovskiy A. A. Application of methods for optimizing routing and caching data in educational content delivery networks based on domestic software. *Informatics and Education*. 2025;40(3):80–87. DOI: 10.32517/0234-0453-2025-40-3-80-87.

1. Введение

В современном мире, где информационные технологии играют ключевую роль, все больше внимания уделяется дистанционному обучению специалистов в различных областях. Среди множества инструментов, используемых в образовательном процессе, особое место занимают системы управления обучением (*англ.* Learning Management System, LMS).

Современные LMS представляют собой мощные платформы, которые не только предоставляют обучающимся разнообразный образовательный контент и обеспечивают эффективное взаимодействие преподавателей и студентов, но и автоматизируют процессы обучения и оценки результатов, создают базы знаний и системы аналитики [1].

С каждым годом количество обучающихся на LMS растет, что приводит к увеличению объема информации и нагрузки на каналы передачи данных [2]. Особенно остро эта проблема проявляется при удаленных расстояниях между обучающимся и основным сервером, где хранятся учебные материалы и результаты обучения. Чтобы решить эту проблему, был разработан специальный класс программного обеспечения — сеть доставки контента (*англ.* Content Delivery Network, CDN) [3].

На рисунке 1 схематично представлен процесс доставки контента. Конечные пользователи запрашивают информационный ресурс на веб-сайте сети доставки контента (шаг 1) [4]. Используя механизм маршрутизации запросов, CDN выбирает и перенаправляет запрос на один из своих пограничных серверов (шаг 2). Выбранный пограничный сервер выполняет контроль доступа, и, если запрос принят, пограничный сервер доставляет контент из своего кэша (шаг 3). Если контент не обнаруживается в кэше, пограничный сервер извлекает и кэширует контент с исходного сервера (шаг 4).

В условиях, когда к сети одновременно подключается большое количество пользователей LMS, время ожидания для пользователей и общая нагрузка на всю CDN увеличиваются. Для решения этой проблемы требуется промежуточное программное обеспечение, которое обеспечивает быструю и надежную доставку информации участникам LMS [5]. Таким программным продуктом может стать интеграционная (сервисная) шина предприятия [6].

Благодаря распределенной архитектуре CDN может эффективно справляться с распределенными атаками типа DDoS [7], поглощая большую часть вредоносного трафика до того, как он достигнет основного сервера.

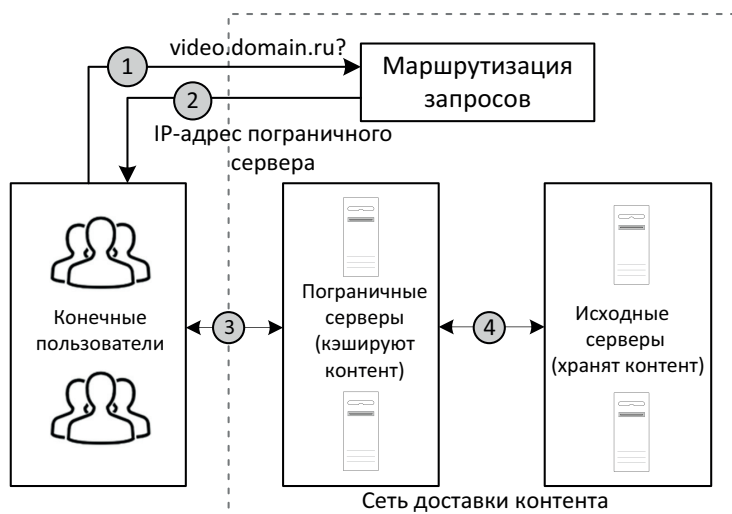


Рис. 1. Процесс доставки контента

Fig. 1. The content delivery process

В данной статье предлагается реализация метода маршрутизации запросов на информационные ресурсы в сети доставки контента на основе отечественного программного обеспечения «1С:Шина» [8].

Нечеткая логика в контексте CDN может быть использована для оптимизации распределения трафика и управления ресурсами. Алгоритмы нечеткой логики позволяют учитывать неопределенность и неточность данных, связанных с нагрузкой на серверы, скоростью передачи данных и востребованностью материала. Это способствует более гибкому и адаптивному управлению потоками контента и повышению эффективности работы CDN.

2. Маршрутизация данных с использованием «1С:Шины»

Интеграционная шина «1С:Шина», созданная компанией «1С», базируется на стандарте открытой архитектуры SOA (Service-Oriented Architecture — сервис-ориентированная архитектура) [9]. Это дает возможность использовать ее не только для интеграции систем на платформе «1С», но и для взаимодействия с внешними информационными системами. Шина поддерживает различные протоколы, включая SOAP, REST, JMS и др., что обеспечивает ее совместимость с разными архитектурными решениями.

В контексте сетей доставки контента функция маршрутизации запросов будет возложена на «1С:Шину» (рис. 2), которая будет действовать как программная прослойка на основном и кэширующих серверах [10].

При запросе контента узлом «Б» данные с основного сервера передаются через «1С:Шину» по протоколу AMQP. Метод маршрутизации запросов и распределения контента, рассматриваемый в данной статье, реализован в «1С:Шине». Если есть промежуточные кэширующие узлы, запрашиваемый контент будет кэшироваться на всех промежуточных узлах [8].

Принцип работы CDN основан на идее сокращения расстояния между пользователем и сервером, на котором хранится контент.

Процесс распространения информационных ресурсов включает в себя несколько этапов:

- получение запроса;
- выбор оптимального маршрута;
- кэширование;

- возможное обновление контента в зависимости от спроса.

Важным элементом этого процесса является алгоритм маршрутизации. Он может быть статическим, например метод round robin, или адаптивным, который реагирует на сетевую нагрузку и текущие условия [11].

Примером сложного адаптивного решения является алгоритм SureRoute, который используется в крупных коммерческих CDN [12]. Его суть заключается в регулярном измерении характеристик маршрутов между серверами и клиентами с помощью специальных контрольных объектов. Это позволяет определить наиболее надежный и быстрый путь доставки.

Для достижения поставленных целей по оптимизации был применен метод, вдохновленный поведением муравьев. Этот алгоритм является стохастическим и имитирует поведение муравьев, которые оставляют следы феромона на пути к источнику пищи [13].

В процессе поиска каждый «агент» (муравей) формирует допустимый маршрут. После завершения пути муравей обновляет значения феромонов на ребрах графа. Вероятность перехода из узла i в узел j вычисляется по формуле:

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in N_i} [\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik}]^\beta},$$

где:

- $\tau_{ij}(t)$ — количество феромона на дуге;
- $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ — эвристическая привлекательность (величина, обратная длине дуги);
- α, β — параметры важности феромона и эвристики;
- N_i — множество доступных узлов из i .

Обновление феромона происходит по формуле:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \frac{Q}{L_k},$$

где:

- ρ — коэффициент испарения феромона;
- L_k — длина маршрута, пройденного муравьем k ;
- Q — константа, определяющая объем наносимого феромона.

Алгоритм, разработанный в рамках нашего исследования, был протестирован на специаль-

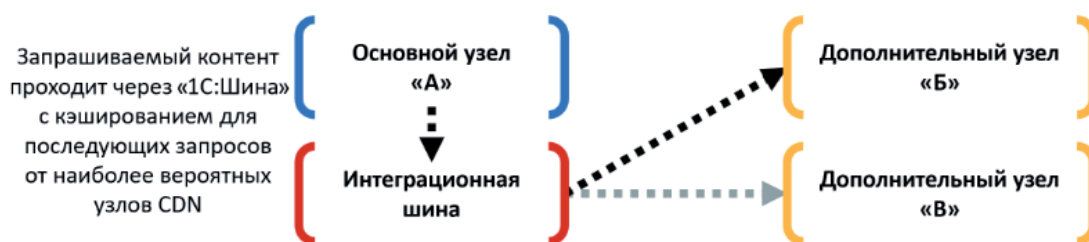


Рис. 2. Схематическое представление интеграции «1С:Шины» в CDN

Fig. 2. Schematic representation of 1C:ESB in CDN

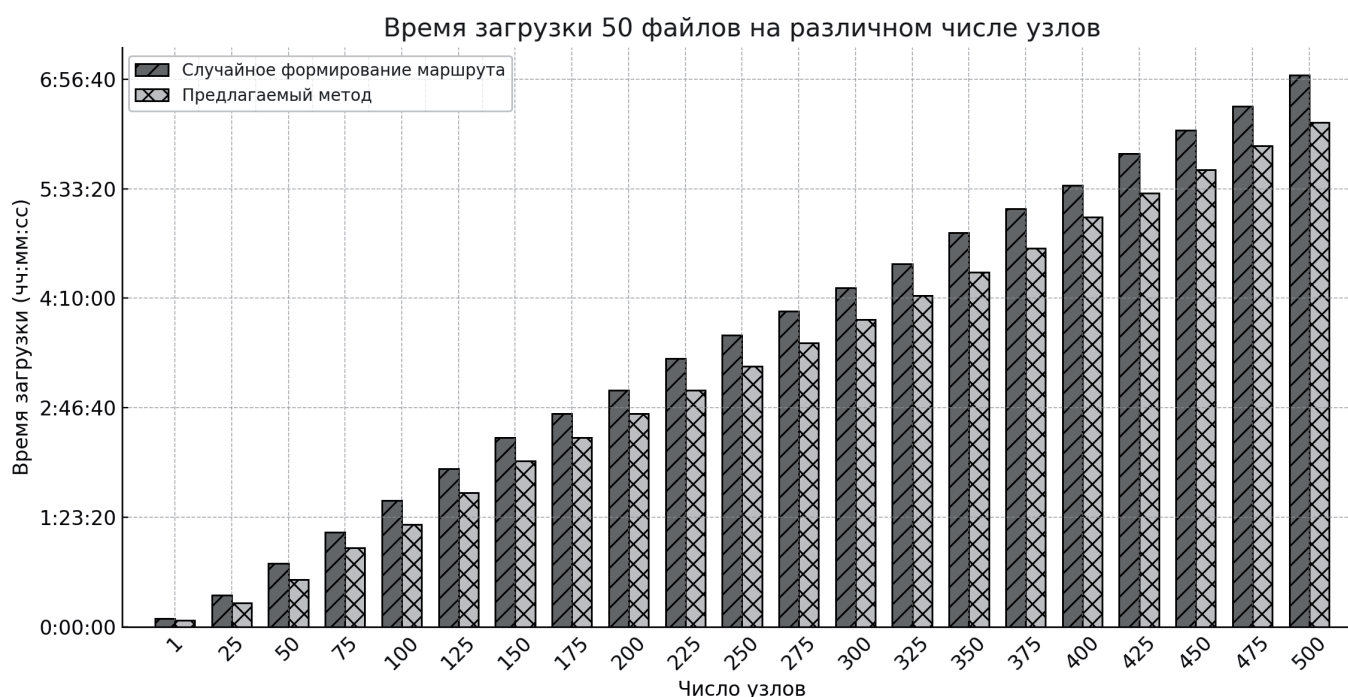


Рис. 3. Результаты эксперимента внедрения в CDN метода маршрутизации контента

Fig. 3. Results of the experiment of implementing the content routing method in CDN

ном стенде, который был создан с использованием контейнерной инфраструктуры Docker [14]. Эта инфраструктура была размещена на серверах, расположенных в разных частях мира.

В ходе тестирования сравнивалось время доставки контента по двум сценариям: при обычной статической маршрутизации и при использовании алгоритма, который динамически обновляет маршруты и оставляет «феромонные следы». В качестве тестовых данных использовались файлы разного размера — от 1 КБ до 1 ГБ. Всего было выполнено более 100 запросов.

Результаты эксперимента показали, что внедрение адаптивной маршрутизации позволило снизить среднее время доставки контента на 17–20 % по сравнению с базовым сценарием (рис. 3). Это свидетельствует о высокой эффективности метода в условиях реальной нагрузки.

3. Кэширование данных с применением нечеткой логики

Метод нечеткой логики (fuzzy logic) позволяет эффективно учитывать неопределенность и неточность исходных данных [15], которые неизбежно присутствуют в реальных условиях работы CDN. Основной идеей данного подхода является классификация цифровых ресурсов на различные уровни популярности (низкая, средняя, высокая) с использованием нечетких множеств и соответствующих функций принадлежности [16]. На основе полученных данных принимается решение о целесообразности распространения контента в сети CDN.

Каждая категория определяется через соответствующую **функцию принадлежности** (рис. 4), где P — кэширования информационного ресурса, а P_{low} , P_{mid} , P_{high} — пограничные значения популярности файла.

Низкая популярность:

$$\mu_{low}(P) = \begin{cases} 1, & P \leq P_{low}; \\ \frac{P_{high} - P}{P_{high} - P_{low}}, & P_{low} < P \leq P_{high}; \\ 0, & P > P_{high}. \end{cases}$$

Средняя популярность:

$$\mu_{mid}(P) = \begin{cases} 0, & P \leq P_{mid,low} \text{ или } P > P_{mid,high}; \\ \frac{P - P_{mid,low}}{P_{mid,abs} - P_{mid,low}}, & P_{mid,low} < P \leq P_{mid,abs}; \\ \frac{P_{mid,high} - P}{P_{mid,high} - P_{mid,abs}}, & P_{mid,abs} < P \leq P_{mid,high}. \end{cases}$$

Высокая популярность:

$$\mu_{high}(P) = \begin{cases} 0, & P \leq P_{high,low}; \\ \frac{P - P_{high,low}}{P_{high} - P_{low}}, & P_{high,low} < P \leq P_{high,abs}; \\ 1, & P > P_{high,abs}. \end{cases}$$

После вычисления всех трех степеней принадлежности строится **вектор фазификации**:

$$\vec{\mu}(P) = [\mu_{low}(P), \mu_{mid}(P), \mu_{high}(P)].$$

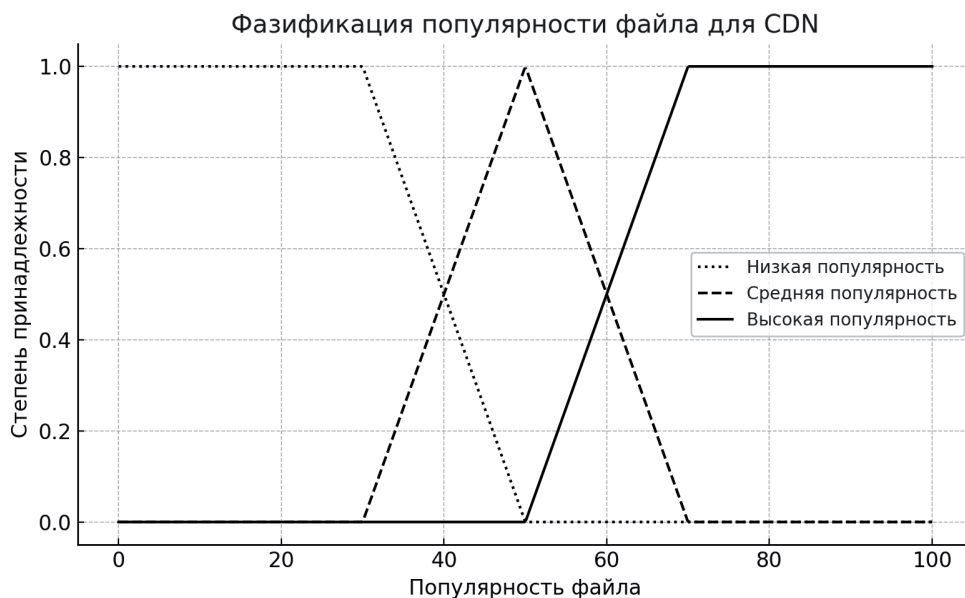


Рис. 4. Функции принадлежности для разных уровней популярности файла

Fig. 4. Membership functions for different file popularity levels

Данный вектор интерпретируется системой для принятия решений по распространению файла в CDN. После чего используется **алгоритм принятия решений**:

1. Получить значения популярности файла P .
2. Задать границы значения популярности для принятия решения: $(P_{low}, P_{high}, P_{mid})$.
3. Вычислить значения функций принадлежности.
4. Построить вектор фазификации $\vec{\mu}(P)$.
5. Оценить максимум компоненты вектора:
 - если максимум — $\mu_{high}(P)$, файл кэшируется во всех узлах;
 - если максимум — $\mu_{mid}(P)$, файл кэшируется частично;
 - если максимум — $\mu_{low}(P)$, файл остается только на центральном сервере.

В целях верификации предложенного подхода был проведен вычислительный эксперимент на трех виртуальных машинах, имитирующих работу кэширующих узлов. Использовались файлы различного размера — от 1 КБ до 1 ГБ. В качестве базового алгоритма сравнения использовался классический алгоритм коммивояжера, реализующий маршрутизацию по минимальному пути.

Результаты показали:

- для файлов с высокой популярностью: прирост производительности до 30 %;
- для файлов средней популярности: экономия ресурсов (серверов и трафика) до 20 %;
- для малопопулярных файлов: исключение из кэширования без потери доступности.

Предложенный метод позволяет:

- учитывать неопределенность пользовательского поведения;

- уменьшить избыточную нагрузку на узлы CDN;
- повысить интеллектуальность архитектуры без использования внешних ИИ-сервисов;
- легко масштабировать решение в рамках отечественных ИТ-разработок.

Проведенные эксперименты с использованием метода нечеткой логики подтвердили его высокую эффективность и адаптивность, что выразилось в увеличении скорости доставки контента на 10–30 % (рис. 5). Основными преимуществами данного подхода являются его гибкость и возможность оперативной адаптации к изменениям популярности контента и нагрузке сети.

4. Анализ результатов эксперимента и выводы

В результате проведенных нами исследований были изучены подходы к оптимизации работы сетей доставки контента на базе отечественного программного продукта «1С:Шина» [17]. Целью исследования являлась разработка эффективных алгоритмов маршрутизации и распределения контента с использованием современных методов оптимизации.

В первой части исследования были применены муравьиный алгоритм [18] и алгоритм муравьиных колоний [19] для решения задачи маршрутизации запросов и поиска минимального пути доставки контента в CDN. Сеть была представлена в виде ориентированного графа, в котором оптимальным маршрутом считался путь с минимальной суммой весов ребер [20] (затраты, задержки).

Результаты вычислительного эксперимента с использованием алгоритма муравьиных колоний по-



Рис. 5. Результаты эксперимента внедрения в CDN метода кэширования на основе нечеткой логики

Fig. 5. Results of the experiment of implementing a cache method based on fuzzy logic in CDN

казали значительное сокращение среднего времени доставки контента:

- на дополнительном узле № 1 время снизилось с 53 до 44 секунд;
- на узле № 2 — со 109 до 96 секунд;
- на узле № 3 — со 154 до 117 секунд;
- на узле № 4 — с 216 до 174 секунд.

Таким образом, внедрение алгоритма муравьиных колоний привело к повышению скорости распространения контента примерно на 25 %.

Во второй части исследования был реализован подход на основе нечеткой логики, предназначенный для гибкого и адаптивного управления трафиком в CDN. Использование алгоритмов нечеткой логики позволило учитывать неопределенность в данных о нагрузке на серверы и популярности контента. Была предложена модель классификации популярности контента на три нечетких множества (низкая, средняя, высокая популярность), что обеспечило динамическое управление распространением файлов в зависимости от степени их востребованности.

Результаты эксперимента с алгоритмом на основе нечеткой логики оказались следующими:

- дополнительный узел № 2 показал снижение времени доставки до 51 секунды, что лучше результата, полученного алгоритмом муравьиных колоний (96 секунд);
- узел № 3 — до 102 секунд (117 секунд);
- узел № 4 — до 144 секунд (174 секунды).

Таким образом, внедрение нечеткой логики дополнительно повысило эффективность доставки контента на 10–30 %, что особенно заметно для контента с высокой востребованностью.

В ходе исследований была успешно подтверждена возможность построения эффективной системы CDN

на основе отечественного программного обеспечения «1С:Шина» с применением современных методов оптимизации. Данные подходы позволяют существенно повысить производительность и адаптивность CDN, обеспечивая быструю и надежную доставку контента пользователям.

Список источников / References

1. Смирнова Ж. В., Чайкина Ж. В. Дистанционное образование как процесс управления обучением. *Мир науки. Педагогика и психология*. 2017;5(2):42. EDN: YUQKOF.
[Smirnova Zh. V., Chaikina Zh. V. Remote education as a process of training. *World of Science. Pedagogy and Psychology*. 2017;5(2):42. (In Russian.) EDN: YUQKOF.]
2. Nguyen H. H. C., Grzonka D., Khoa B. T., Sagar K. V., Abbasi I. A., Mahaveerakannan R., Alkhayyat A. New trends in Over the Top Media Service (OTT) web user behaviour analysis and unethical user prediction. *Mobile Network and Applications*. 2023:1–17. EDN: QFQDUH. DOI: 10.1007/s11036-023-02214-7.
3. Южанинов Р. И., Кокоулин А. Н., Даденков С. А. Сравнительный анализ методов моделирования сети доставки контента (CDN). *Наука и бизнес: пути развития*. 2016;(3(57)):42–44. EDN: VWOMKZ.
[Yuzhaninov R. I., Kokoulin A. N., Dadenkov S. A. Comparative analysis of network modeling methods of content delivery network (CDN). *Science and Business: Ways of Development*. 2016;(3(57)):42–44. (In Russian.) EDN: VWOMKZ.]
4. Алгулиев Р. М., Алыгулиев Р. М., Гусейнова А. А. Повышение эффективности корпоративных сетей с применением CDN-технологии. *Информационные технологии*. 2008;(7):2–9. EDN: KVVVRWD.
[Alguliev R. M., Alyguliyev R. M., Huseynova A. A. Increase of efficiency of corporate network with application CDN technology. *Information Technologies*. 2008;(7):2–9. (In Russian.) EDN: KVVVRWD.]
5. Лавриненко И. Ю. Перспективы использования LMS в рамках современного высшего образования. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2023;(1):17–35. EDN: JBMUHS. DOI: 10.24412/2304-120X-2023-11002.

[Lavrinenko I. Yu. Prospects for the LMS use in modern higher education. *Scientific and Methodological Electronic Journal "Koncept"*. 2023;(1):17–35. (In Russian.) EDN: JB-MUHS. DOI: 10.24412/2304-120X-2023-11002.]

6. Радишевский В. Л., Кульневич А. Д. Распределенный брокер сообщений Kafka для высокоскоростной передачи и агрегации данных. *Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет; 2018:284–285. EDN: NRYQYF.

[Radishevsky V. L., Kulnevich A. D. Distributed Kafka message broker for high-speed data transmission and aggregation. *Youth and Modern Information Technologies. Collection of Works of the 15th Int. Scientific and Practical Conf. of Students, Postgraduates and Young Scientists*. Tomsk, National Research Tomsk Polytechnic University; 2018:284–285. (In Russian.) EDN: NRYQYF.]

7. Афанасьева Д. В. Проблема DDoS-атак. *Наука, образование и культура*. 2019;(2(36)):21–22. EDN: YYSJSH.

[Afanasyeva D. V. The issue of DDoS attacks. *Science, Education and Culture*. 2019;(2(36)):21–22. (In Russian.) EDN: YYSJSH.]

8. Прокуровский А. А., Андреев И. А., Тутова Н. В. Повышение эффективности распределения ресурсов в сетях доставки образовательного контента с использованием интеграционной шины «1С: Шина». *Информатика и образование*. 2024;39(4):90–95. EDN: DHHPT. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-4-90-95.

[Prokurovsky A. A., Andreev I. A., Tutova N. V. Improving the efficiency of resource allocation in educational content delivery networks using the 1C:ESB integration bus. *Informatics and Education*. 2024;39(4):90–95. (In Russian.) EDN: DHHPT. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-4-90-95.]

9. Прокуровский А. А., Андреев И. А., Буланов Г. А. Архитектура сети доставки контента на основе технологии блокчейна. *Технологии информационного общества. Сборник трудов XVI Международной отраслевой научно-технической конференции*. М.: Издательский дом Медиа Паблишер; 2022:245–247. EDN: UOHNFQ.

[Prokurovsky A. A., Andreev I. A., Bulanov G. A. Content delivery network architecture based on blockchain technology. *Information Society Technologies. Proc. 16th Int. Industry Scientific and Technical Conf.* Moscow, Media Publisher; 2022:245–247. (In Russian.) EDN: UOHNFQ.]

10. Дуго С. М., Нуралиев Б. Г. Взаимодействие экосистемы 1С с системой образования в эпоху цифровой экономики. *Новые информационные технологии в образовании. Сборник научных трудов XXII международной научно-практической конференции*. Ч. 1. М.: 1С-Паблишинг; 2022:7–24. EDN: CDOBUU.

[Digo S. M., Nuraliev B. G. Interaction of the 1C ecosystem with the education system in the digital economy era. *New Information Technologies in Education. Collection of Research Papers for the 22nd Int. Research-to-Practice Conf. Part 1*. Moscow, 1C-Publishing; 2022:7–24. (In Russian.) EDN: CDOBUU.]

11. Леонов Е. А., Денисова Л. А. Балансировка нагрузок: основные алгоритмы и методы. *Информационные технологии и автоматизация управления. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, работников образования и промышленности*. Омск: Омский государственный технический университет; 2015:192–197. EDN: TSYIBT.

[Leonov E. A., Denisova L. A. Load balancing: Main algorithms and methods. *Information Technologies and Automation of Control. Proc. of the 6th All-Russian Scientific and Practical Conf. of Students, Postgraduates, Workers of Education and Industry*. Omsk, Omsk State Technical University; 2015:192–197. (In Russian.) EDN: TSYIBT.]

12. Mursalimov A. Comparative analysis of methods of dynamic management of the structure of the data transmission network. *Recent Achievements and Prospects of Innovations and Technologies*. 2022;(1):243–251. EDN: QPVMBF.

13. Петров А. Ю. Обзор существующих методов разделения программных и аппаратных ресурсов в вычислительных системах. *Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии. Четвертая Международная научная конференция. Сборник докладов. Ч. 2*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; 2023:212–216. EDN: EWRJAB.

[Petrov A. Yu. Overview of existing methods for separating software and hardware resources in computing systems. *Aerospace Instrumentation and Operational Technologies. Fourth Int. Scientific Conf. Collection of Papers. Part 2*. St. Petersburg, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; 2023:212–216. (In Russian.) EDN: EWRJAB.]

14. Руденко В. А. Контейнеризация сервисов с помощью инструмента docker-compose и практическое применение в НФИ КемГУ. *Информационные технологии. Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции*. Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет; 2019:109. EDN: WETPSB.

[Rudenko V. A. Containerization of services using docker-compose and practical application at NFI KemSU. *Information Technologies. Proc. 57th Int. Scientific Student Conf.* Novosibirsk, Novosibirsk National Research State University; 2019:109. (In Russian.) EDN: WETPSB.]

15. Савченко Д. В., Резникова К. М., Смышляева А. А. Нечеткая логика и нечеткие информационные технологии. *Отходы и ресурсы*. 2021;8(1):10. EDN: EROHRQ. DOI: 10.15862/10ECOR121.

[Savchenko D. V., Reznikova K. M., Smyshlyayeva A. A. Fuzzy logic and fuzzy information technology. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2021;8(1):10. (In Russian.) EDN: EROHRQ. DOI: 10.15862/10ECOR121.]

16. Климова И. В. Обоснование научного подхода и алгоритма оценки профессиональных рисков на основе нечеткой логики. *Инновационные научные исследования*. 2022;(11-2(23)):53–61. EDN: LNWZPC. DOI: 10.5281/zenodo.7336010.

[Klimova I. V. Substantiation of the scientific approach and algorithm of professional risk assessment based on Fuzzy Logic. *Innovative Scientific Research*. 2022;(11-2(23)):53–61. (In Russian.) EDN: LNWZPC. DOI: 10.5281/zenodo.7336010.]

17. Голубева О. Л. Современные цифровые технологии в ERP-системах. *Социально-экономическое развитие промышленного региона. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Челябинск: Челябинский государственный университет; 2023:99–102. EDN: AYDJXL.

[Golubeva O. L. Modern digital technologies in ERP systems. *Socio-economic Development of the Industrial Region. Collection of Scientific Papers of the All-Russian Scientific and Practical Conf. with Int. Participation*. Chelyabinsk, Chelyabinsk State University; 2023:99–102. (In Russian.) EDN: AYDJXL.]

18. Наседкин И. В., Репьев И. Н., Бычковский М. М., Зайкин Н. Н., Фатьянова Е. В., Нестеров Д. А. Нахождение кратчайшего пути с помощью эвристических алгоритмов. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2023;(5):194–199. EDN: VNDIPG. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-5-194-195.

[Nasedkin I. V., Repyev I. N., Bychkovsky M. M., Zai-kin N. N., Fatyanova E. V., Nesterov D. A. Finding the shortest path using heuristic algorithms. *Izvestiya Tula State University*. 2023;(5):194–199. (In Russian.) EDN: VNDIPG. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-5-194-195.]

19. Дудакова А. В., Упырь Р. Ю., Ким М. С. Разработка имитационной модели маршрутизации на основе муравьи-

ного алгоритма. *Электронный научный журнал «Молодая наука Сибири»*. 2025;(1):1–9.

[Dudakova A. V., Upyr R. Yu., Kim M. S. Design of a routing simulation model using ant optimization. *The Electronic Scientific Journal “Young Science of Siberia”*. 2025;(1):1–9. (In Russian.)]

20. Барсуков Н. И., Беляков А. М., Войнова Д. А. Применение муравьиного алгоритма в задачах с несколькими блуждающими торговцами. *Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы. Сборник статей по материалам IX Всероссийской научно-практической конференции*. Пенза: Пензенский государственный университет; 2022:50–52. EDN: SJZQDJ.

[Barsukov N. I., Belyakov A. M., Voynova D. A. Application of the ant algorithm in problems with multiple traveling salesmen. *Information Technologies in Science and Education. Problems and Prospects. Collection of Articles Based on the Materials of the 9th All-Russian Scientific and Practical Conf.* Penza, Penza State University; 2022:50–52. (In Russian.) EDN: SJZQDJ.]

Информация об авторе

Прокуровский Алексей Андреевич, аспирант кафедры корпоративных информационных систем, факультет информационных технологий, Московский технический университет связи и информатики, г. Москва, Россия; разработчик, фирма «1С», г. Москва, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-6269-1754>; *e-mail*: proaa@1c.ru

Information about the author

Alexey A. Prokurovskiy, a postgraduate student at the Department of Corporate Information Systems, Faculty of Information Technologies, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia; Software Developer, 1C Company, Moscow, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-6269-1754>; *e-mail*: proaa@1c.ru

Поступила в редакцию / Received: 22.05.2025.

Поступила после рецензирования / Revised: 16.06.2025.

Принята к печати / Accepted: 17.06.2025.