

DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-4-90-95

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В СЕТЯХ ДОСТАВКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЦИОННОЙ ШИНЫ «1С:ШИНА»

А. А. Прокуровский^{1,2} ✉, И. А. Андреев^{1,3}, Н. В. Тутова¹¹ *Московский технический университет связи и информатики, г. Москва, Россия*² *Фирма «1С», г. Москва, Россия*³ *«1С-Образование», г. Москва, Россия*

✉ alexprokurovskiy@yandex.ru

Аннотация

Системы управления обучением (*англ.* Learning Management System, LMS) играют ключевую роль в образовательном процессе, предоставляя студентам разнообразные виды образовательного контента, а преподавателям — инструменты для контроля знаний обучающихся и оценки прогресса. Однако с увеличением числа студентов возрастает и нагрузка на каналы передачи данных, что может привести к снижению качества обучения. Для решения этой проблемы используются сети доставки контента (*англ.* Content Delivery Network, CDN), которые ускоряют загрузку веб-сайтов и уменьшают нагрузку на серверы. CDN обеспечивают доступность и безопасность сайтов, а также улучшают их масштабируемость (устойчивость к плавному росту нагрузки), распределяя контент по сети серверов, расположенных по всему миру, что позволяет пользователям быстрее и эффективнее получать доступ к контенту.

Интеграционная шина обмена данными (сервисная шина предприятия (*англ.* Enterprise Service Bus, ESB)) может стать эффективным инструментом для оптимизации алгоритма распределения контента CDN. Она позволяет объединить различные системы и приложения, обеспечивая обмен данными между ними. Это особенно полезно в контексте дистанционного обучения, требующего быстрой и надежной доставки образовательного контента, обратной связи, аналитики обучения и т. п. Внедрение интеграционной шины обмена данными с системой дистанционного обучения на основе LMS может стать ключевым фактором в обеспечении эффективного и качественного образовательного процесса. В статье рассмотрены свойства и характеристики интеграционной шины обмена данными, обосновано использование интеграционной шины для оптимизации алгоритма распределения контента CDN, в частности в LMS.

Ключевые слова: образование, система управления обучением, сеть доставки контента, сервисная шина предприятия, интеграционная шина, «1С:Шина», конвертация данных.

Для цитирования:

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. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-4-90-95.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF RESOURCE ALLOCATION IN EDUCATIONAL CONTENT DELIVERY NETWORKS USING THE 1C:ESB INTEGRATION BUS

A. A. Prokurovskiy^{1,2} ✉, I. A. Andreev^{1,3}, N. V. Tutova¹¹ *Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia*² *1C Company, Moscow, Russia*³ *1C Education, Moscow, Russia*

✉ alexprokurovskiy@yandex.ru

Abstract

Learning Management Systems (LMS) play a key role in the educational process by providing students with various educational content and instructors with tools to monitor student knowledge and assess progress. However, as the number of students increases, the load on data transmission channels increases, which can lead to a decrease in the quality of learning. To solve this problem, Content Delivery Networks (CDN) are used to speed up the loading of websites and reduce the load on servers. CDN ensure the availability

and security of websites and improve their scalability (resistance to smooth load growth) by distributing content across a network of servers around the world, allowing users to access content faster and more efficiently.

Integration data exchange bus (Enterprise Service Bus, ESB) can be an effective tool for optimizing CDN content distribution algorithm. It allows integration of different systems and applications, enabling data exchange between them. This is particularly useful in the context of distance learning, which requires fast and reliable delivery of educational content, feedback, learning analytics, etc. Implementing an integration bus of data exchange with LMS-based distance learning system can be a key factor in ensuring an efficient and quality educational process. The article considers the properties and characteristics of the integration bus and justifies the use of the integration bus to optimize the algorithm of CDN content distribution, in particular in LMS.

Keywords: education, learning management system, LMS, content delivery network, CDN, enterprise service bus, integration bus, 1C:ESB, data conversion.

For citation:

Prokurovskiy 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.) DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-4-90-95.

1. Введение

На современном этапе развития информационных технологий в России все популярнее становится дистанционный формат обучения будущих специалистов различных отраслей. Среди множества вспомогательных инструментов в образовательной деятельности все чаще встречаются системы управления обучением (*англ.* Learning Management System, LMS). Современные LMS — это гигантские платформы, которые не только предоставляют образовательный контент (в разнообразных форматах) обучающимся и обеспечивают эффективное взаимодействие преподавателей с ними, но также администрируют и автоматизируют процессы обучения и оценки образовательных результатов, создавая базы знаний, системы аналитики обучения и др.

С каждым годом и новым учебным циклом объемы информации и количество обучающихся на LMS возрастают. Это значит, что неумолимо растет нагрузка на каналы передачи данных, особенно при дальних географических расстояниях между абонентом LMS (обучающимся) и основным сервером, где расположены учебные материалы или результаты обучения, а скорость получения информации снижается. Чтобы решить эту проблему, был создан целый класс программного обеспечения — сеть доставки контента (*англ.* Content Delivery Network, CDN) [1].

Однако в условиях одновременного подключения к сети большого количества абонентов LMS время ожидания пользователей и общая нагрузка на всю CDN возрастают и требуется промежуточное программное обеспечение, решающее задачу быстрой и надежной доставки информации участникам LMS. В качестве такого программного продукта может выступать интеграционная (сервисная) шина предприятия¹.

Целью статьи является показать, что программный продукт «1С:Шина» повышает эффективность и стабильность CDN в сетях доставки образовательного контента.

2. CDN как средство оптимизации работы системы управления обучением

Система управления обучением — это платформа для онлайн-обучения, предназначенная для организации и управления всем циклом образовательного процесса, начиная от разработки учебного контента до проверки знаний обучающихся. Она представляет собой интерактивную систему, где все обучающие материалы хранятся в единой виртуальной среде, что обеспечивает удобство доступа и структурированность информации.

LMS позволяет преподавателям эффективно управлять образовательным процессом, предоставляя инструменты для разработки заданий разного формата (например, видеоуроки, лекции, мастер-классы), проверки знаний с помощью тестов и экзаменов, а также для обратной связи. Эта система востребована как в секторе общего и профессионального образования, так и в бизнесе, где LMS используется для корпоративного обучения, повышения квалификации сотрудников и проведения аттестации персонала.

CDN — это система распределения контента по серверам разных регионов, позволяющая ускорить загрузку веб-сайтов и уменьшить нагрузку на исходный сервер. Принцип работы CDN состоит в том, что содержимое веб-сайта (текст, изображения, видео и другие ресурсы) хранится (кэшируется) на узлах CDN, которые находятся ближе к конечному пользователю. Таким образом, когда пользователь запрашивает содержимое веб-сайта, оно будет загружено с ближайшего к нему узла CDN, что ускоряет работу сайта [1]. Каждый узел CDN поддерживает множество соединений и обеспечивает параллельную передачу данных, что значительно уменьшает время загрузки контента. Кроме того, CDN уменьшает нагрузку на исходный сервер, что позволяет выдерживать большой трафик и улучшает производительность всего сайта [2].

CDN играет ключевую роль в улучшении процесса дистанционного обучения, делая его более эффективным и доступным для студентов и преподавателей. CDN позволяет распределять образовательный контент по серверам, расположенным по всему миру [3], что обеспечивает быструю загрузку учебных материалов, видеолекций, интерактивных заданий и других элементов курса. Это особенно важно для

¹ Сервисная шина предприятия (*англ.* Enterprise Service Bus, ESB) — связующее программное обеспечение, обеспечивающее централизованный и унифицированный событийно-ориентированный обмен сообщениями между различными информационными системами на принципах сервис-ориентированной архитектуры. *Википедия*. https://ru.wikipedia.org/wiki/Сервисная_шина_предприятия

студентов, находящихся в удаленных регионах или имеющих ограниченный доступ к высокоскоростному интернету.

К достоинствам CDN относятся следующие:

- **ускорение загрузки веб-сайтов:** распределение контента на узлах CDN снижает время загрузки страниц, что улучшает пользовательский опыт и повышает уровень удовлетворенности пользователя [4];
- **уменьшение нагрузки на сервер:** при использовании CDN трафик распределяется между несколькими узлами, что уменьшает нагрузку на исходный сервер и повышает его производительность [5];
- **повышение доступности сайта:** наличие копий контента на серверах CDN обеспечивает возможность доступа к сайту даже тогда, когда основной сервер недоступен;
- **повышение безопасности:** большинство CDN используют технологии защиты от DDoS-атак и других угроз [6];
- **увеличение масштабируемости:** использование CDN позволяет масштабировать сайт на большую аудиторию без значительных изменений в инфраструктуре.

Таким образом, использование CDN делает дистанционное обучение более эффективным и доступным, обеспечивая быструю загрузку учебных материалов, интерактивных заданий и тестов, а также позволяя устанавливать стабильную обратную связь и отслеживать прогресс студентов, что способствует лучшему усвоению материала и повышению мотивации к обучению. Преподаватели, в свою очередь, могут оперативно обновлять и дополнять учебные материалы, не беспокоясь о том, что распространение изменений среди студентов займет слишком много времени.

3. Интеграционная шина обмена данными как инструмент оптимизации работы CDN

Следует отметить высокую зависимость производительности CDN и работающих с ней LMS от количества одновременно подключенных к сети сеансов. Если абоненты LMS запрашивают материалы, которые не располагаются на сервере в данный момент времени, LMS запрашивает необходимые данные с основного сервера через CDN [7]. В результате пользователи LMS ожидают, пока необходимый материал поступит на ближайший по географическому расположению сервер. Разумеется, если рассматривать сценарий единичного взаимодействия пользователя с LMS, то нагрузка будет крайне малой. Однако если возникает ситуация массового подключения к LMS, тогда время ожидания пользователей и общая нагрузка на всю CDN возрастают в несколько раз.

В связи с этим появляется необходимость создать промежуточное программное обеспечение, которое позволит передавать информацию по принципу брокера сообщений (англ. Message Broker) [8, 9]. Брокер сообщений — это приложение в распределенных

системах, выступающее посредником между приложениями-источниками и приложениями-приемниками. Он преобразует сообщения из одного протокола в другой, проверяет их на ошибки, маршрутизирует к нужным приемникам, сохраняет сообщения в базе данных, вызывает веб-сервисы и распространяет сообщения подписчикам в модели «издатель—подписчик». Именно таким программным продуктом и является «1С:Шина», обеспечивающая обмен данными между различными информационными системами.

3.1. Программное обеспечение «1С:Шина»: характеристики и особенности

«1С:Шина» — это корпоративная программная шина, которая позволяет организовывать интеграцию различных программных систем и компонентов в единую систему (интеграционная шина). Она обеспечивает стандартизацию интерфейсов и снижает затраты на разработку и поддержку интеграции¹. Шина фирмы «1С» основана на стандарте открытой архитектуры COA (англ. Service-Oriented Architecture, SOA), что позволяет использовать ее не только для интеграции различных программных систем на платформе «1С», но и для интеграции с внешними системами. Она поддерживает различные протоколы (SOAP, REST, JMS и др.), что дает возможность использовать ее с различными архитектурными решениями. Принцип работы интеграционной шины «1С:Шина» представлен на рисунке 1.

«1С:Шина» имеет графический интерфейс, который позволяет управлять процессом интеграции и мониторингом состояния системы. Она поддерживает ряд методов и сервисов, которые могут использоваться при интеграции, например:

- мапперы — это часть операционной системы, которая помогает создавать новые типы дисков, используя уже существующие диски, чтобы упростить управление данными и улучшить работу компьютера [10];
- трансформация данных [11];
- правила маршрутизации сообщений [12] и др.

Помимо взаимодействия с информационными системами на платформе «1С:Предприятие», сервисы интеграции «1С:Шина» позволяют также:

- обмениваться данными по протоколу AMQP для подключения к внешним брокерам сообщений;
- обмениваться сообщениями с брокером сообщений Apache ActiveMQ Artemis;
- выполнять HTTP-запросы к внешним системам для получения или отправки данных, вызовов REST API или WEB-сервисов;
- обмениваться сообщениями в виде файлов, сохраненных в файловой системе или на FTP-сервере (такие сообщения могут также порождаться при изменении файлов в файловой системе или на FTP-ресурсах);

¹ Интеграционная шина. 1С:Заметки из Зазеркалья. 20.03.2020. <https://wonderland.v8.1c.ru/blog/integratsionnaya-shina/>

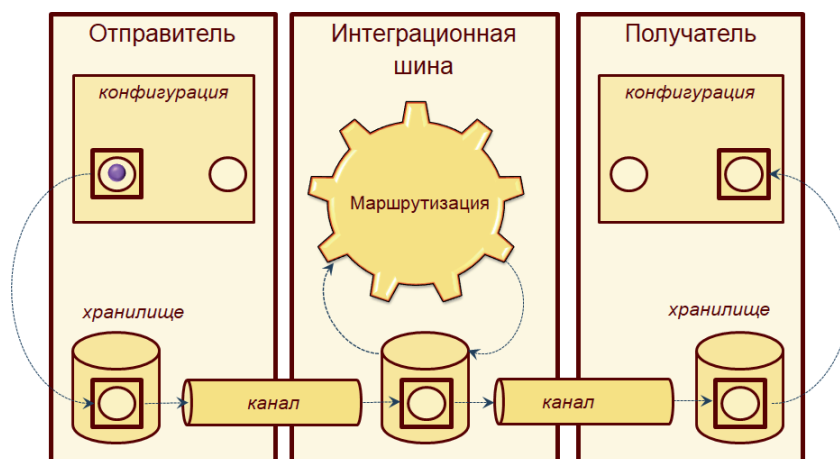


Рис. 1. Принцип работы интеграционной шины
Fig. 1. The principle of function of the integration bus

- обмениваться данными с внешними СУБД (например, MS SQL Server или PostgreSQL), используя JDBC: Java DataBase Connectivity.

Данные преимущества выделяют продукт «1С:Шина» как универсальный и гибкий, позволяющий оптимизировать работу малых и крупных информационных систем.

«1С:Шина» позволяет быстро и эффективно организовывать интеграцию различных систем и компонентов, повышая эффективность работы компании и снижая затраты на разработку и поддержку модулей обмена данными в различном ПО. Она может применяться в различных сферах деятельности, начиная от финансов и банковской сферы, заканчивая производством и логистикой¹.

Поскольку «1С:Шина» представляет собой инструмент для интеграции и обмена данными между различными информационными системами, она может быть эффективно использована для улучшения стабильности CDN в контексте дистанционного обучения и работы LMS. Когда образовательные учреждения сталкиваются с необходимостью быстрой и надежной доставки образовательного контента,

образовательной аналитики и т. п., использование «1С:Шины» может значительно повысить эффективность и стабильность CDN.

3.2. Оптимизация работы сети доставки контента в LMS при помощи «1С:Шина»

При развертывании сети доставки контента и ее узлов необходимо определить алгоритмы распределения контента между узлами. Стоит отметить, что в существующих CDN уже присутствуют алгоритмы распределения контента [13, 14]. Опишем способ внедрения интеграционной шины в работу сетей доставки контента для прогнозируемого и оптимального распределения данных между узлами с возможностью кэширования передаваемой информации.

Рассмотрим следующий пример. Имеется центральный узел сети доставки контента «А» и дополнительные узлы сети доставки контента «Б» и «В». Между узлами настроен классический алгоритм распределения контента [15]. При передаче информации в нужный узел не производится кэширование данных для других узлов CDN, помимо целевого узла [16]. Таким образом, узел «В» будет нагружать основной узел «А» при запросе данных (рис. 2).

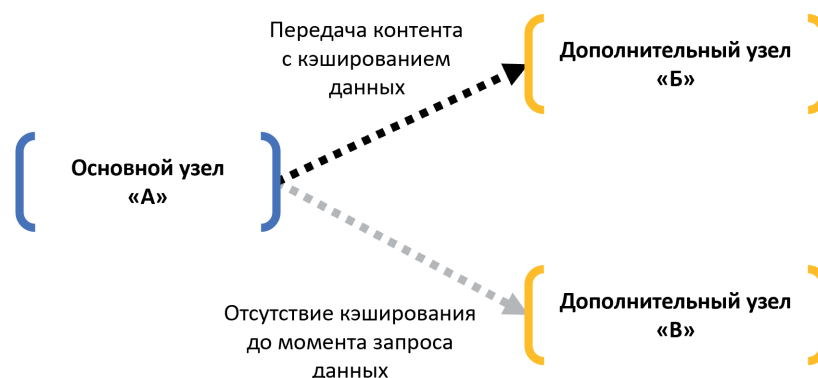


Рис. 2. Схематическое описание работы CDN
Fig. 2. Schematic description of CDN operation

¹ Там же.

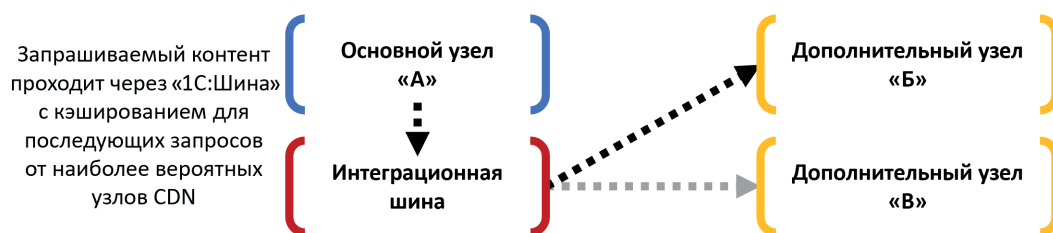


Рис. 3. Схематическое описание стенда CDN с интеграцией «1С:Шина»

Fig. 3. Schematic description of CDN stand with 1C:ESB integration

Если внедрить «1С:Шина» в алгоритм прогнозированного распределения контента между другими узлами CDN [17], то в случае запроса контента узлом «Б» с основного сервера данные передаются через «1С:Шина» по протоколу AMQP [18]. При этом «1С:Шина» с помощью алгоритма вероятностного распределения контента по другим узлам, территориально близким к целевому узлу «Б», кэширует информацию для узла «В» (рис. 3).

Таким образом, интеграция «1С:Шина» в систему дистанционного обучения может стать ключевым фактором в обеспечении стабильной и надежной работы CDN, что, в свою очередь, повысит качество образовательного процесса и удовлетворенность студентов и преподавателей.

4. Заключение

«1С:Шина» представляет собой инновационный инструмент для интеграции и обмена данными между различными информационными системами. Благодаря поддержке множества методов и сервисов «1С:Шина» позволяет эффективно организовать взаимодействие между различными системами, а также обмениваться данными с внешними системами и брокерами сообщений, выполнять HTTP-запросы и вызовы REST API, обмениваться файлами и данными с внешними СУБД. Эти функции делают «1С:Шина» универсальным инструментом, который может быть использован в системах управления обучением [19]. В работе LMS интеграция «1С:Шина» значительно повышает эффективность и стабильность сетей доставки контента (CDN), обеспечивая оптимальное распределение данных между узлами и кэширование информации.

В последующих статьях будут описаны конкретные способы применения ПО «1С:Шина» в CDN, а также аналитические результаты интеграции.

Список источников / References

1. Papagianni C., Leivadreas A., Papavassiliou S. A cloud-oriented content delivery network paradigm: Modeling and assessment. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*. 2013;10(5):287–300. DOI: 10.1109/TDSC.2013.12.
2. Triukose S., Wen Zh., Rabinovich M. Measurement of the commercial content delivery network. *Proc. 20th Int. Conf. on World Wide Web (WWW'11)*. New York, NY, USA, Association for Computing Machinery; 2011:467–476. DOI: 10.1145/1963405.1963472.

3. Ren Yu., Huang Ch., Lv Y., Lv W., Zhang H. A distributed real-time transcoding CDN system design and performance simulation study. *Sensors*. 2022;22(5):1945. DOI: 10.3390/s22051945.

4. Pleskanka M. The quality of service parameters QoS improvement in CDN network with Edge Compute module. *Infocommunication Technologies and Electronic Engineering*. 2023;3(2):64–73. (In Ukrainian.) DOI: 10.23939/ictee2023.02.064.

5. MaheshKumar R., Veni S. CAD-CDN: Coronary artery disease prediction using convolutional neural network with modified densenet. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. 2023;11(9):576–584. DOI: 10.17762/ijritcc.v11i9.8847.

6. Lee S., Manjunath D., Joo C. On the economics effects of CDN-mediated delivery on content providers. *IEEE Transactions on Network and Service Management*. 2022;19(4):4449–4460. DOI: 10.1109/TNSM.2022.3162883.

7. Roy S., Williamson C. L., McLean R. LMS performance issues: A case study of D2L. *International Journal of Computers and Their Applications*. 2018;25(3):113–122. Available at: <https://isca-hq.org/Documents/Journal/Archive/2018volume25-3.pdf>

8. Contreras L. M., Solano A., Cano F., Folgueira J. Analysis of network function sharing in Content Delivery Network-as-a-service slicing scenarios. *International Journal of Network Management*. 2023;33(4):e221. DOI: 10.1002/nem.2221.

9. 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: Proc. 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.]

10. Arpanaei F., Rivas-Moscoso J. M., De Francesca I., Hernández J. A., Sánchez-Macián A., Zefreh M. R., Larra-beiti D., Fernández-Palacios J. P. Enabling seamless migration of optical metro-urban networks to the multi-band: Unveiling a cutting-edge 6D planning tool for the 6G era. *Journal of Optical Communications and Networking*. 2024;16(4):463–480. DOI: 10.1364/JOCN.505490.

11. D'Arienzo M., Gracco S. A survey on CDN vulnerability to DoS attacks. *International Journal of Computer Networks & Communications*. 2023;15(5):127–145. DOI: 10.5121/ijcnc.2023.15508.

12. Taha M., Ali A. Redirection and protocol mechanisms in content delivery network-edge servers for adaptive video streaming. *Applied Sciences*. 2023;13(9):5386. DOI: 10.3390/app13095386.

13. GVS A. V., GVN A. V. Dynamic user routing for paid and free users in web applications using content delivery network (CDN). *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2023;11(7):409–414. DOI: 10.22214/ijraset.2023.54654.

14. Zeng Q., Yin Zh., Pan Q., Ma Y., Yu Yu., Zhuang Y., Liang J., Yang Sh., Han X. TVSR-OR: Tile-based 360-degree video streaming over real time streaming protocol with optimized read. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*. 2023;34(5):e4759. DOI: 10.1002/ett.4759.

15. Kumar A., Banerjee Sh., Pandey M. A churn-tolerant P2P CDN at the edge for video content delivery. *SN Computer Science*. 2023;4(5):541. DOI: 10.1007/s42979-023-01935-6.

16. Dharmapal P., Channakrishnaraju, Krishnamur Ch. B. A novel cost-based replica server placement for optimal service quality in cloud-based content delivery network. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2023;13(5):5588–5598. DOI: 10.11591/ijece.v13i5.pp5588-5598.

17. 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. DOI: 10.1007/s11036-023-02214-7.

18. Yang H., Pan H., Ma L. A review on software defined content delivery network: A novel combination of CDN and SDN. *IEEE Access*. 2023;11:43822–43843. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3267737.

19. Горбатов С. В., Краснова Е. А. Процессный подход к управлению качеством образования: от внутренней системы качества к аккредитационному мониторингу. *Инженерное образование в цифровом обществе. Материалы Международной научно-методической конференции*. Минск: Белорусский государственный университет информатики и электроники; 2024;2:256–258. EDN: MSJNSE.

[Gorbatov S. V., Krasnova E. A. Process approach to education quality management: from the internal university quality system to accreditation monitoring. *Engineering Education in Digital Society. Proc. Int. Scientific and Methodological Conf.* Minsk, Belarusian State University of Informatics and Electronics; 2024;2:256–258. (In Russian.) EDN: MSJNSE.]

Информация об авторах

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*: alexprokurovskiy@yandex.ru

Андреев Илья Александрович, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры корпоративных информационных систем, факультет информационных технологий, Московский технический университет связи и информатики, г. Москва, Россия; директор, «1С-Образование», г. Москва, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0009-0000-8988-3097>; *e-mail*: andi@1c.ru

Тутова Наталья Владимировна, канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры корпоративных информационных систем, факультет информационных технологий, Московский технический университет связи и информатики, г. Москва, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-2851-8472>; *e-mail*: n.v.tutova@mtuci.ru

Information about the authors

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*: alexprokurovskiy@yandex.ru

Iliya A. Andreev, Candidate of Sciences (Economics), Docent, Associated Professor at the Department of Corporate Information Systems, Faculty of Information Technologies, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia; Director, 1C Education, Moscow, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0009-0000-8988-3097>; *e-mail*: andi@1c.ru

Natalia V. Tutova, Candidate of Sciences (Engineering), Docent, Associate Professor at the Department of Corporate Information Systems, Faculty of Information Technologies, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-2851-8472>; *e-mail*: n.v.tutova@mtuci.ru

Поступила в редакцию / Received: 03.07.24.

Поступила после рецензирования / Revised: 11.08.24.

Принята к печати / Accepted: 13.08.24.