

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.65>

АНАЛИЗ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В СРЕДЕ E-LEARNING С МНОГОВАРИАНТНЫМ ДОСТУПОМ К УЧЕБНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Научная статья

Босенко Т.М.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0002-5375-096X;

¹ Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (boss-ua[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье рассматривается применение микросервисов для реализации доступа к образовательным данным в системе управления процессом обучения. Одной из наиболее проблемных областей при разработке высоконагруженных онлайн-систем является координация всех микросервисов в единой системе и распределение нагрузки на аппаратные ресурсы при критических показателях загрузки системы.

В ходе исследования при переходе от монолитной архитектуры LMS-системы «Moodle» к микросервисной архитектуре отслеживались основные показатели серверного оборудования и среднее время отклика на запросы пользователей. Предлагаемый способ реализации системы позволяет значительно снизить требования к оборудованию и сократить время отклика системы в условиях высокой нагрузки (от 500 уникальных пользователей в единицу времени).

Полученные результаты апробации метода позволяют считать его эффективным инструментом для разработки систем онлайн-обучения с многовариантным доступом к учебным материалам.

Предложенный способ реализации системы позволяет существенно снизить требования к оборудованию и сократить время отклика системы в условиях высокой нагрузки. Представленная архитектура, позволяет значительно улучшить функциональность, гибкость и масштабируемость системы, особенно в части сервис-ориентированных модулей.

Ключевые слова: микросервисная архитектура, система управления обучением, многовариантный доступ, масштабируемость системы.

ANALYSIS OF MICROSERVICE ARCHITECTURE IN E-LEARNING ENVIRONMENT WITH MULTIVARIATE ACCESS TO LEARNING MATERIALS

Research article

Bosenko T.M.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0002-5375-096X;

¹ Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (boss-ua[at]yandex.ru)

Abstract

The article examines the application of microservices to implement access to educational data in a learning management system. One of the most problematic areas in the development of highly loaded online systems is the coordination of all microservices in a single system and the distribution of load on hardware resources at critical system load indicators.

In the course of the study, during the transition from monolithic architecture of LMS-system "Moodle" to microservice architecture the main indicators of server equipment and average response time to user requests were monitored. The proposed method of system implementation allows to significantly reduce the hardware requirements and reduce the response time of the system in conditions of high load (from 500 unique users per unit of time).

The obtained results of approbation of the method allow to regard it as an effective tool for the development of online learning systems with multivariate access to training materials.

The proposed method of system implementation allows to drastically reduce hardware requirements and reduce system response time under high load conditions. The presented architecture allows to significantly improve the functionality, flexibility and scalability of the system, especially in terms of service-oriented modules.

Keywords: microservice architecture, learning management system, multivariate access, system scalability.

Введение

Стремительный рост спроса на онлайн обучение дал импульс развитию LMS-системам. Этот рост стал ощутим с переходом на дистанционное обучение [1]. Опыт работы с готовыми решениями показал в большинстве случаев невозможность их использования, когда к системе могут получить доступ сразу сотни тысяч пользователей. В большинстве случаев проблемы масштабирования с таких систем решаются путем экспоненциального увеличения мощности оборудования. Это связано с тем, что LMS-системы построены на монолитной архитектуре, поэтому такие решения лишь откладывают проблемы в образовательной информационной системе на короткое время.

Традиционные подходы к развитию образовательных ресурсов очень часто ограничиваются монолитной архитектурой, которая уменьшает возможность к адаптивности и препятствует масштабируемости. Появление микросервисной архитектуры (МСА), основанной на принципах сервис-ориентированной архитектуры, позволяет

расширить возможности в этой области. Разбивая сложные системы на более простые автономные сервисы, МСА обеспечивает более гибкий и модульный процесс разработки.

Разработка программного обеспечения (ПО) для автоматизации обучения становится все более преобладающим фактором оптимизации различных аспектов учебного процесса. Автоматизированное ПО позволяет преподавателям и студентам получать доступ к образовательным материалам в любое время и с любого устройства, что делает процесс обучения индивидуальным и гибким.

Наблюдается тенденция активного и повсеместного применения технологий контейнеризации микросервисов в образовании. Сегодня контейнеризация является одним из самых популярных способов для упаковки и развертывания приложений [2]. По мнению специалистов [3], [4], [5], использование технологии микросервисной архитектуры упаковки образовательных сервисов в настоящее время – это ключевой фактор повышения качества предоставляемых образовательных ресурсов в LMS-системе.

Технология контейнеризации является одним из ключевых трендов в области информационных технологий. Эта технология позволяет организовать и управлять ресурсами в виде изолированных контейнеров, что обеспечивает масштабируемость и безопасность. Интеграция микросервисной архитектуры на основе контейнеризации может значительно улучшить функциональность LMS-системы «Moodle», особенно в части сервиса для управления образовательными материалами и сервиса оценки знаний обучающихся.

Методы и принципы исследования

Цель: реализации доступа к образовательным данным в системе управления процессом обучения с многовариантным доступом к данным для повышения эффективности организации образовательного процесса в LMS-системе «Moodle».

Задачи проекта:

1. Оценка существующей архитектуры LMS-системы «Moodle».
2. Разработка концепции микросервисной архитектуры, которая учитывает многовариантный доступ к образовательному контенту, включающий использование больших массивов структурированных, полуструктурированных и неструктурированных данных.
3. Определение настроек балансировки нагрузки в МСА реализации LMS-системы «Moodle».

Методы исследования: обзор литературы в области информатизации образования и применения технических средств в педагогическом процессе; анализ построения LMS-систем через возможные варианты организации очного или дистанционного обучения и их специфику в результате использования технологий контейнеризации и протоколов обмена данными между микросервисами; изучение и анализ педагогического опыта использования средств цифровизации образования; анализ существующих кейсов образовательных учреждений, которые используют микросервисы в LMS-системах; опросы компаний, предоставляющих ПО корпоративного уровня, о применении технологий контейнеризации и протоколов обмена данными между микросервисами в учебном процессе; анализ эффективности, масштабируемости микросервисов, реализованных в LMS-системах; обобщение полученных в результате анализа данных в виде концепции микросервисной архитектуры в системе управления процессом обучения; анализ метрик серверного оборудования для определения основных технических показателей при переходе от монолитной архитектуры к МСА.

Основные результаты

Вопросы внедрения технологии контейнеризации и протоколов обмена данными между микросервисами в систему образования напрямую связаны с повышением эффективности, гибкости и масштабируемости образовательных систем и процессов. Микросервисная архитектура, широко применяемая в разработке программного обеспечения, предоставляет эффективные инструменты для организации учебного процесса.

Проведенный анализ зарубежных [6] и отечественных научных и научно-педагогических публикаций [7] выявил существенное влияние данных технологий на подготовку ИТ-специалистов и формирование у него профессиональных компетенций, с помощью которых они смогут успешно решать практико-ориентированные задачи, возникающие на всех этапах жизненного цикла хранения, анализа и обработки данных, программных средств бизнес-аналитики.

Технология контейнеризации подразумевает, что каждый сервис может быть развернут и масштабирован независимо от других. Изоляция сервисов позволяет избежать «единой точки отказа» и уменьшить влияние отказов на другие компоненты системы. Микросервисы могут взаимодействовать между собой через API. Это позволяет разработчикам использовать различные технологии и языки программирования для каждого сервиса.

В настоящее время учебные курсы, включающие аналитику данных, направлены на овладение обучающимися фундаментальных основ обработки данных и основан на четырех [8] содержательно-методических треках (рис. 1).

Основываясь на содержательно-методических треках обучения курсу аналитики данных, сформированы специфические потребности к процессам управления образовательными материалами и проверки заданий обучающихся.



Рисунок 1 - Содержательно-методические линии курс обучения аналитики данных в департаменте информатики, управления и технологий МГПУ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.65.1>

Обязательной составляющей процесса управления образовательными материалами являются данные или источники данных, работа с которыми предполагает:

- наличие актуального источника данных, или источника больших данных;
- хранение данных в специализированных СУБД, хранилищах данных, облачных системах;
- извлечение данных по запросу;
- визуализация результатов.

Процесс оценки заданий обучающихся требует интерпретации решения задания за счет оформления решений в специализированных платформах JupyterLab, Hadoop или Spark.

По своей структуре LMS-система «Moodle» является монолитной архитектурой, модули которой не могут запускаться независимо. На рисунке 2 представлена монолитная архитектура LMS-системы «Moodle», в которой процессы оценки знаний и управления образовательными материалами не могут быть интегрированы, в связи с наличием типизированной СУБД и ограниченным хранилищем. При использовании такой архитектуры каждое приложение запускается одновременно, поскольку все модули приложения содержатся в одном общем приложении. Этот факт не позволяет расширять модульность управления процессом обучения с использованием внешних программных средств.

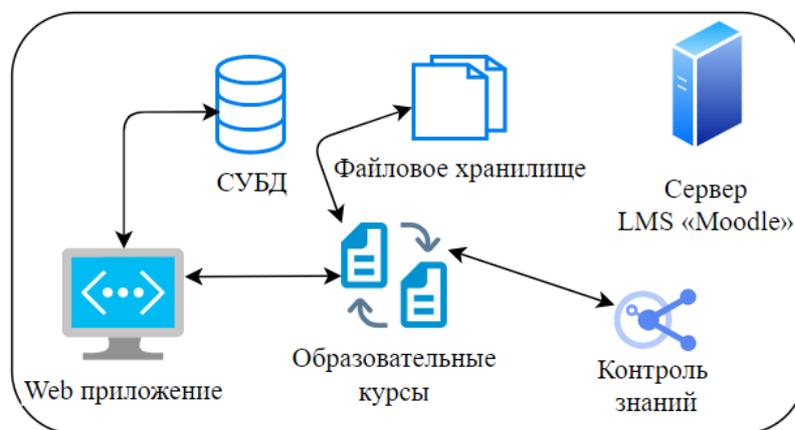


Рисунок 2 - Монолитная архитектура LMS-системы «Moodle»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.65.2>

С использованием технологии контейнеризации и протоколов обмена данными между микросервисами, LMS-система «Moodle» может включать в себя микросервисы. В контексте обучения это означает разделение учебного процесса на несколько этапов или модулей, каждый из которых реализуется отдельным сервисом.

На основе проведенного анализа содержательно-методического трека и подходов к процессу обучения курсам, включающих анализ структурированных [9] и неструктурированных данных [10] в департаменте информатики, управления и технологий МГПУ, спроектирована обобщенная структура организации работы системы управления процессом обучения (рис. 3), которая позволяет реализовать переход LMS-системы «Moodle» от монолитной архитектуры к микросервисной архитектуре.

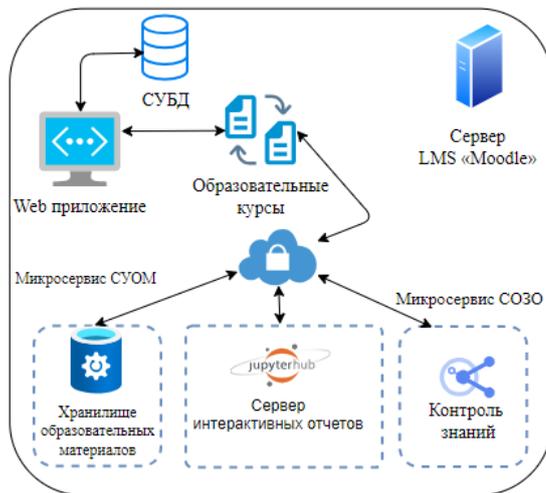


Рисунок 3 - Микросервисная архитектура LMS-системы «Moodle»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.65.3>

МСА реализовано в полной мере реализовано при хранении материалов курсов для LMS-системы «Moodle», и представлены в виде обособленных хранилищ данных, доступ к которым организовывается посредством изолированных микросервисов, представленных на рисунке 4.

Для реализации микросервисов выделены следующие контейнеризованные серверы:

- сервер реляционной базы данных (RDB);
- сервер хранилища больших данных (BigData);
- сервер хранилища неструктурированных данных (HadoopWH);
- сервер интерактивных отчетов (JupyterHUB).

В результате получены два сервиса:

- сервис для управления образовательными материалами (СУОМ);
- сервис оценки знаний обучающихся (СОЗО).

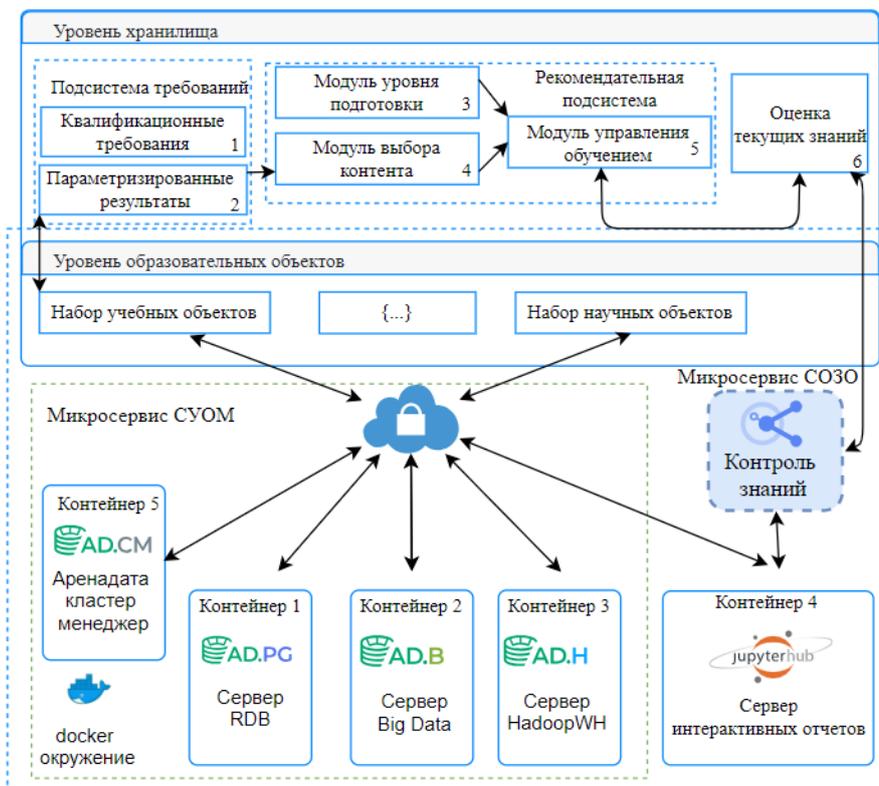


Рисунок 4 - МСА хранилища LMS-системы «Moodle»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.65.4>

СУОМ в результате сформированной концепции поддерживается благодаря двухуровневому кластеру данных: уровни определяются в зависимости от гетерогенности данных, используемых в образовательном процессе. Последний уровень в хранилище данных всегда является фильтром и источником данных конечных потребителей, в нашем случае это обучающиеся и преподаватели. К СУОМ могут подключаться как студенты, так и преподаватели и, не изменяя данных, их анализировать.

СОЗО основан на использовании блокнотов платформы JupyterLab, которая является основным инструментом для анализа данных и научных исследований. Платформа предоставляет ряд инструментов и функций, которые упрощают преподавателям создание и совместное использование интерактивных блокнотов, учебных материалов, которые используются в лекциях, онлайн-курсах и самостоятельной работе обучающихся.

Множественный доступ к образовательным материалам предоставляет разнообразные интерфейсы для разных групп пользователей (например, администраторы, преподаватели, руководители департамента и студенты при использовании микросервисов «RDB», «NORDB», «HadoopWH», «JupyterHUB» получают наборы данных в зависимости от их уровня доступа).

Каждый из микросервисов располагается на отдельном контейнеризованном виртуальном сервере, который получает необходимый ресурс в соответствии с общими принципами балансировки нагрузки на систему. Модуль балансировки нагрузки настраивается на уровне ядра сервера каждого сервера-сервиса и предусматривает использование алгоритмов принятия решений на основе состояния системы.

Описание аппаратной базы для проведения исследований

Исследование проводилось на выделенном сервере: на базе Intel Xeon Gold 2x 5218 v4, с частотой 2,8 ГГц, возможностью многопоточности – 48 потоков, 32 ядра и 256 ГБ оперативной памяти, 6ТБ жесткий диск SAS,RAID 1+0.

Исследования проводились на однотипных 20 образовательных курсах, связанных с использованием больших массивов данных. Нагрузка осуществлялась с помощью программной системы моделирования, а также снятия метрик из системы мониторинга Zabbix [11]. Сформирована следующая нагрузка: 100, 500, 1000, 10000 пользователей. Основными характеристиками для анализа были: средний процент загрузки ядер ЦП, среднее значение использования оперативной памяти, среднее время ответа сервера, среднее время ответа баз данных для RDB, BigData, HadoopWH.

В табл. 1 использованы следующие обозначения:

- CPU – средний процент загрузки ядер ЦП;
- MEM – среднее значение использования оперативной памяти;
- t_{cp} – среднее время ответа сервера;
- $t_{cpRDB}, t_{cpBD}, t_{cpHWH}$ – среднее время ответа баз данных соответственно для RDB, BigData, HadoopWH.

Таблица 1 - Средняя производительность сервера

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.65.5>

Количество пользователей		100				
Параметры	CPU, %	MEM, ГБ	t_{cp} , с	t_{cpRDB} , с	t_{cpBD} , с	t_{cpHWH} , с
Монолит	4,12	2,52	0,1212	0,0041	0,0246	0,0546
МСА	6,52	4,81	0,0961	0,0021	0,0054	0,0032
Количество пользователей		500				
Монолит	24,62	10,15	0,1842	0,0571	0,1323	0,0946
МСА	20,15	21,97	0,1161	0,0096	0,0184	0,0063
Количество пользователей		1000				
Монолит	48,32	84,07	1,1533	0,2813	1,0234	0,2442
МСА	36,17	98,11	0,4567	0,0144	0,0853	0,0452
Количество пользователей		10000				
Монолит	98,61	320,97	4,2332	2,3421	6,0645	8,5322
МСА	69,14	124,34	0,3568	0,1123	0,8654	0,7652

При оценке среднего времени доступа к системе, построенной на МСА, используется среднее время доступа ко всем микросервисам без учета «времени простоя» микросервиса в единицу времени.

Результаты исследования показали:

- при нагрузке до 500 пользователей и менее 20 образовательных курсов нет необходимости переходить на МСА;
- при ожидаемой нагрузке более 500 пользователей и использовании более 100 образовательных курсов монолитная архитектура не может обеспечить бесперебойную работу системы. Самой распространенной ошибкой в

системе было превышение таймаута ответа при обращении к полуструктурированным данным (сервер BigData) и неструктурированным данным (сервер HadoopWH);

МСА позволяет обрабатывать более 10000 пользователей, за счет возможности использования балансировки нагрузки между микросервисами. Это также связано с распределенной обработкой запросов и кэшированием данных сервисов.

Заключение

Исследование подтвердило ожидаемый результат от перехода монолитной архитектуры на МСА в случае многовариантного доступа к онлайн-ресурсам LMS-системы «Moodle», который заключался в целесообразности использования МСА в сильно нагруженных системах. Использование МСА особенно целесообразно в случае многовариантного доступа к онлайн-ресурсам LMS-системы «Moodle», когда происходит распределение пользователей по различным микросервисам, организующих доступ к разнородным хранилищам данных или СУБД.

При разработке системы МСА определены основные свойства микросервисов, которые необходимо предусмотреть для оптимального функционирования работы СУОМ и СОЗО. Небольшой размер микросервисов позволяет справляться с высокой нагрузкой при использовании сервиса. Независимость сервисов увеличивает надежность информационной системы.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Чернышев В.А. Разработка приложения подбора средств контейнеризации для различных сервисных платформ / В.А. Чернышев, Е.В. Трофимова // Тенденции развития науки и образования. — 2023. — № 97-11. — С. 125–129. — DOI: 10.18411/trnio-05-2023-614.
2. Паночевный П.Н. Анализ качества цифровых образовательных ресурсов и платформ для поддержки обучения в вузе / П.Н. Паночевный // Педагогический журнал. — 2023. — Т. 13. — № 2А-3А. — С. 533–539. — DOI: 10.34670/AR.2023.76.82.070.
3. Барсуков Н.Д. Распределенная микросервисная архитектура системы анализа логов платформы «Открытое образование» / Н.Д. Барсуков, Д. Посметныйс, И.В. Никифоров // Современные технологии в теории и практике программирования: Сборник материалов научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 22 апреля 2021 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2021. — С. 83–85.
4. Босенко Т.М. Использование экосистемного подхода в разработке образовательных ресурсов на основе микросервисной архитектуры / Т.М. Босенко // Актуальные проблемы теории и практики обучения физико-математическим и техническим дисциплинам в современном образовательном: Сборник избранных статей VI Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции. — Курск, 2023. — С. 287–291.
5. Фролов Ю.В. Платформы данных AI/ML на основе отечественного программного обеспечения / Ю.В. Фролов, Т.М. Босенко, Д.В. Яценко // Современная {цифровая} дидактика. — Москва: А-Приор, 2023. — С. 119–128.
6. Antony V. Containerization: Practical infrastructure and accessibility efficiency for the Virtual Learning Environment / V. Antony // Pacific Journal of Technology Enhanced Learning. — 2020. — Vol. 2. — № 1. — P. 41.
7. Фролов Ю.В. Анализ тенденций на рынке труда молодых специалистов в сфере ИТ-индустрии / Ю.В. Фролов, Д.К. Чумов // Вестник МГПУ. Серия: Экономика. — 2023. — № 1(35). — С. 103–109. — DOI: 10.25688/2312-6647.2023.35.1.06.
8. Власов Д.А. Возможности новой содержательно-методической линии «Анализ больших данных» для модернизации системы профессиональной подготовки будущего экономиста обучения / Д.А. Власов, П.А. Карасев, А.В. Синчуков // Статистика и экономика. — 2021. — Т. 18. — № 4. — С. 60–70.
9. Босенко Т.М. Использование OLAP-технологии в процессе обучения студентов специальности 38.03.05 - бизнес-информатика / Т.М. Босенко, П.К. Григорьев // Актуальные проблемы теории и практики обучения физико-математическим и техническим дисциплинам в современном образовательном пространстве: Сборник избранных статей VI Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Курск, 15–16 декабря 2022г. — Курск: Курский государственный университет, 2022. — С. 146–150.
10. Frolov Y.V. Training of personnel for the development of innovative entrepreneurship / Y.V. Frolov, T.M. Bosenko // Academy of Entrepreneurship Journal. — 2020. — Vol. 26. — № 1. — P. 1–6.
11. Босенко Т.М. Соадминистрирование баз данных и серверов: Практикум / Т.М. Босенко, Е.С. Демина. — Москва: Эдитус, 2024. — 102 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chernyshev V.A. Razrabotka prilozhenija podbora sredstv kontejnerizacii dlja razlichnyh servisnyh platform [Development of an application for selecting containerization tools for different service platforms] / V.A. Chernyshev, E.V.

Trofimova // Tendencii razvitija nauki i obrazovanija [Tendencies of Science and Education Development]. — 2023. — № 97-11. — P. 125–129. — DOI: 10.18411/trnio-05-2023-614. [in Russian]

2. Panochevnyj P.N. Analiz kachestva cifrovyyh obrazovatel'nyh resursov i platform dlja podderzhki obuchenija v vuze [Analysis of the quality of digital educational resources and platforms to support learning in higher education] / P.N. Panochevnyj // Pedagogicheskij zhurnal [Pedagogical Journal]. — 2023. — Vol. 13. — № 2A-3A. — P. 533–539. — DOI: 10.34670/AR.2023.76.82.070. [in Russian]

3. Barsukov N.D. Raspredeleonnaja mikroservisnaja arhitektura sistemy analiza logov platformy «Otkrytoe obrazovanie» [Distributed microservice architecture of the log analysis system of the "Open Education" platform] / N.D. Barsukov, D. Posmetnyjs, I.V. Nikiforov // Sovremennye tehnologii v teorii i praktike programmirovaniya: Sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 22 aprelja 2021 goda [Modern technologies in the theory and practice of programming: Proceedings of the Scientific and Practical Conference, Saint-Petersburg, 22 April 2021]. — St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2021. — P. 83–85. [in Russian]

4. Bosenko T.M. Ispol'zovanie jekosistemnogo podhoda v razrabotke obrazovatel'nyh resursov na osnove mikroservisnoj arhitektury [Use of ecosystem approach in the development of educational resources on the basis of microservice architecture] / T.M. Bosenko // Aktual'nye problemy teorii i praktiki obuchenija fiziko-matematicheskimi i tehničeskimi disciplinami v sovremennom obrazovatel'nom: Sbornik izbrannyh statej VI Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoy konferencii [Current problems of theory and practice of teaching physics, mathematics and technical disciplines in modern educational: Collection of selected articles of the VI All-Russian (with international participation) Scientific and Practical Conference]. — Kursk, 2023. — P. 287–291. [in Russian]

5. Frolov Ju.V. Platformy dannyh AI/ML na osnove otechestvennogo programmnogo obespečenija [AI/ML data platforms based on domestic software] / Ju.V. Frolov, T.M. Bosenko, D.V. Jacenko // Sovremennaja {cifrovaja} didaktika [Modern {digital} Didactics]. — Moscow: A-Prior, 2023. — P. 119–128. [in Russian]

6. Antony B. Containerization: Practical infrastructure and accessibility efficiency for the Virtual Learning Environment / B. Antony // Pacific Journal of Technology Enhanced Learning. — 2020. — Vol. 2. — № 1. — P. 41.

7. Frolov Ju.V. Analiz tendencij na rynke truda molodyh specialistov v sfere IT-industrii [Analysis of tendencies in the labour market of young specialists in the IT industry] / Ju.V. Frolov, D.K. Chumov // Vestnik MGPU. Serija: Jekonomika [Bulletin of Moscow State Pedagogical University. Series: Economics]. — 2023. — № 1(35). — P. 103–109. — DOI: 10.25688/2312-6647.2023.35.1.06. [in Russian]

8. Vlasov D.A. Vozmožnosti novej soderžatel'no-metodicheskoy linii «Analiz bol'shih dannyh» dlja modernizacii sistemy professional'noj podgotovki budushhego jekonomista obuchenija [Possibilities of the new content-methodological line "Big Data Analysis" for modernization of the system of professional training of the future training economist] / D.A. Vlasov, P.A. Karasev, A.V. Sinchukov // Statistika i jekonomika [Statistics and Economics]. — 2021. — Vol. 18. — № 4. — P. 60–70. [in Russian]

9. Bosenko T.M. Ispol'zovanie OLAP-tehnologii v processe obuchenija studentov special'nosti 38.03.05 - biznes-informatika [Use of OLAP-technology in the process of teaching students of speciality 38.03.05 – business informatics] / T.M. Bosenko, P.K. Grigor'ev // Aktual'nye problemy teorii i praktiki obuchenija fiziko-matematicheskimi i tehničeskimi disciplinami v sovremennom obrazovatel'nom prostranstve: Sbornik izbrannyh statej VI Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoy konferencii, Kursk, 15–16 dekabrja 2022 g. [Current problems of theory and practice of teaching physical, mathematical and technical disciplines in modern educational space: Collection of selected articles of VI All-Russian (with international participation) Scientific and Practical Conference, Kursk, 15-16 December 2022.] — Kursk: Kursk State University, 2022. — P. 146–150. [in Russian]

10. Frolov Y.V. Training of personnel for the development of innovative entrepreneurship / Y.V. Frolov, T.M. Bosenko // Academy of Entrepreneurship Journal. — 2020. — Vol. 26. — № 1. — P. 1–6.

11. Bosenko T.M. Soadministrirovanie baz dannyh i serverov: Praktikum [Database and server co-administration: Workshop] / T.M. Bosenko, E.S. Demina. — Moscow: Jeditus, 2024. — 102 p. [in Russian]