

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ВИРТУАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

FUNCTIONAL MODEL OF A DIGITAL DOUBLE OF A VIRTUAL COMPUTER LABORATORY

**E. Mikheeva
O. Romashkova
S. Chiskidov**

Summary. The article presents a functional model of a digital twin of a virtual computer laboratory integrated with a Learning Management System (LMS). The relevance of this work stems from the need for hands-on practical training in distance learning contexts and the digitalization of the educational environment. The aim is to formalize the processes of providing remote access to laboratory computing resources through digital twin technology. The study describes the integration architecture of an LMS with a cloud-based virtual machine infrastructure, as well as a functional model of the system encompassing user roles (student, teacher, administrator), their actions and interaction scenarios. The proposed model is shown to replicate the functionality of a physical computer lab, enabling students to perform practical assignments remotely without loss of educational quality. The advantages of this approach are highlighted, and potential application areas are discussed. The main results and directions for further system development are presented.

Keywords: digital twin, virtual laboratory, functional model, distance learning, virtual machines, cloud technologies.

Михеева Елена Олеговна

Аспирант, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет (МГПУ)»
eo.mikheeva@gmail.com

Ромашкова Оксана Николаевна

Доктор технических наук, профессор,
Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте РФ, г. Москва
ox-rom@yandex.ru

Чискидов Сергей Васильевич

Кандидат технических наук, доцент,
ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»
chis69@mail.ru

Аннотация. В статье представлена функциональная модель цифрового двойника виртуальной компьютерной лаборатории, интегрированной с системой дистанционного обучения (LMS). Актуальность работы обусловлена потребностью в практических занятиях при условии дистанционного обучения и цифровизации образовательной среды. Целью исследования является формализация процессов предоставления удалённого доступа к программно-аппаратным ресурсам учебной лаборатории посредством технологии цифрового двойника. В работе описаны архитектура интеграции LMS с облачной инфраструктурой виртуальных машин, а также модель функционирования системы, включающая роли пользователей (студент, преподаватель, администратор), их действия и сценарии взаимодействия. Предложенная модель обеспечивает эквивалентность функционала виртуальной лаборатории реальному учебному компьютерному классу, позволяя студентам выполнять практические задания удалённо с сохранением качества обучения. Отмечены преимущества подхода и рассмотрены потенциальные области применения. Приведены основные результаты и направления дальнейшего развития системы.

Ключевые слова: цифровой двойник, виртуальная лаборатория, функциональная модель, дистанционное обучение, виртуальные машины, облачные технологии.

Введение

Цифровизация образования и рост потребности в дистанционном обучении обуславливают актуальность разработки виртуальных учебных лабораторий, эквивалентных по возможностям традиционным материально-техническим базам вузов. Концепция цифрового двойника изначально возникла в промышленности, где использовалась для оптимизации производства, и в широком смысле представляет собой цифровую реплику реального физического объекта, обеспечивающую бесперебойный обмен данными между физическим прототипом и его виртуальной моделью. Таким образом, цифровой двойник — это виртуальная

модель системы, процесса или устройства, воспроизводящая состояние и поведение оригинала в режиме реального времени. В последнее десятилетие данный подход стал применим и в образовательной сфере. Такой проект как цифровой двойник компьютерной лаборатории обеспечивает удалённый доступ студентов к реальному оборудованию через веб-интерфейс, изменяя традиционную модель учебного процесса и открывая новые возможности обучения.

Сложность организации практических занятий в распределённых и массовых группах студентов, недостаточное количество оборудования и ограничение доступа к лабораториям стимулирует поиск новых подходов.

Виртуальные симуляторы и удалённые лаборатории стали частичным решением, однако классические симуляторы не взаимодействуют с реальными данными и не обеспечивают эффекта присутствия. Концепция же цифрового двойника ориентирована на воспроизведение реальных условий работы оборудования или системы, что делает её привлекательной для создания полнофункциональных виртуальных учебных лабораторий [1, 2].

Цель исследования — разработать функциональную модель цифрового двойника виртуальной компьютерной лаборатории, интегрированной с LMS, формализующую роли пользователей и процессы взаимодействия.

Задачи исследования включают:

- анализ подходов к интеграции LMS с внешними лабораторными средствами;
- проектирование архитектуры системы с использованием облачных технологий виртуализации;
- описание функциональной модели в нотации UML;
- выявление преимуществ предложенного решения и потенциальных направлений его применения.

В соответствии с целью в работе приведены архитектура интеграции LMS с виртуальной лабораторией и описание функциональной модели системы. Основные результаты были формализованы с помощью диаграмм UML (структурная схема архитектуры, диаграмма прецедентов) и BPMN.

Цифровой двойник как объект моделирования

Цифровой двойник виртуальной компьютерной лаборатории представляет собой совокупность программно-аппаратных компонентов, имитирующих рабочие места для практических занятий по информатике и смежным дисциплинам. Объектом моделирования является типовая учебная компьютерная лаборатория, включающая набор рабочих станций с установленным специализированным программным обеспечением для выполнения лабораторных работ. Физически такая лаборатория обычно реализована в виде класса с компьютерами, объединёнными в сеть и подключёнными к серверу учебной среды или LMS. Цифровой двойник воспроизводит все основные функции и возможности этой лаборатории в виртуальной среде.

В рассматриваемой системе виртуальная лаборатория развернута в виде облачного сервера виртуализации, на котором создаются виртуальные машины, эмулирующие компьютеры лаборатории. Каждая ВМ содержит требуемое специализированное ПО в соответствии с тематикой лабораторной работы. Цифровой двойник охватывает полный жизненный цикл использования этих

виртуальных ресурсов, от их инициализации и конфигурирования под конкретную задачу до мониторинга их состояния в реальном времени, сохранения результатов, и выключения по завершении работы.

Важно подчеркнуть, что цифровой двойник лаборатории действует в тесной связке с образовательным процессом. В отличие от разрозненных симуляторов, цифровой двойник интегрирован с данными учебного курса и контекстом деятельности студентов и преподавателей. Иными словами, состояние виртуальной машины может соответствовать прогрессу выполнения студентом задания, а результаты в виде отчетных файлов и исходного кода передаются обратно в LMS для оценки. Таким обеспечивается удаленное выполнение учебных целей.

С точки зрения моделирования, цифровой двойник виртуальной лаборатории представляет собой многокомпонентную систему, состоящую из подсистем:

- виртуализации в контексте создания и управления виртуальными машинами;
- интеграции с LMS в контексте обмена данными между LMS и виртуальными машинами;
- пользовательского интерфейса в контексте обеспечения взаимодействия пользователей с виртуальной средой через веб-интерфейс LMS).

В совокупности эти компоненты образуют объект, функционально эквивалентный реальной лаборатории, что подтверждает корректность применения понятия «цифровой двойник» в данном контексте.

Архитектура интеграции виртуальной лаборатории с LMS

Для реализации описанного цифрового двойника разработана архитектура, интегрирующая виртуальную лабораторию в состав LMS. Общая архитектура системы представлена на рисунке 1.

Архитектура включает в себя следующие основные элементы:

- веб-интерфейс для пользователей;
- совокупность функциональных модулей LMS;
- модуль интеграции, отвечающий за взаимодействие LMS с сервером виртуализации;
- модуль аутентификации и авторизации;
- базу данных;
- внешний сервер виртуализации, где запускаются виртуальные машины.

Категории пользователей студент и преподаватель работают с системой через единый интерфейс LMS, что обеспечивает целостность пользовательского опыта. Администратор, минуя интерфейс, может взаимодействовать с сервером виртуализации и с другими модулями при необходимости.

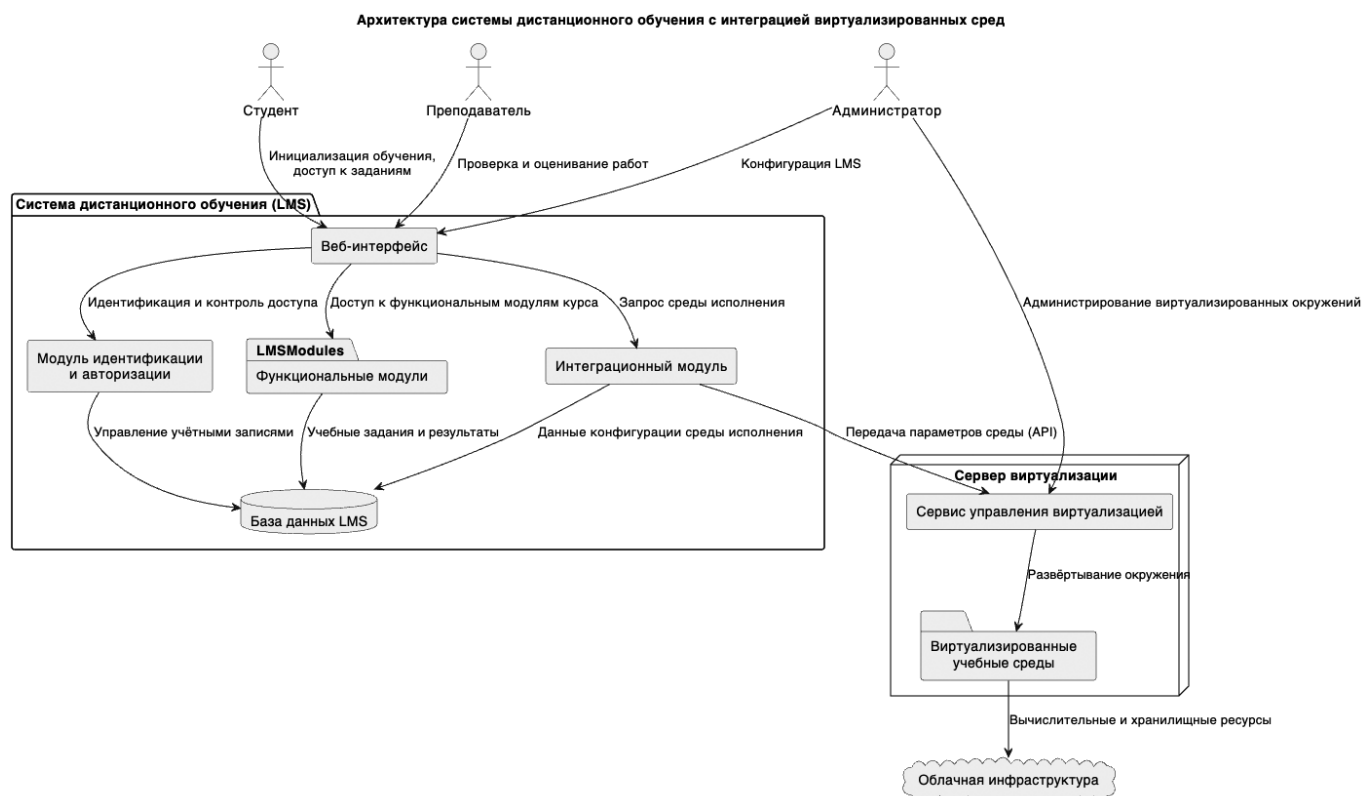


Рис. 1. Архитектура системы дистанционного обучения с интегрированными виртуальными машинами

Система дистанционного обучения играет роль центрального звена архитектуры [2]. В LMS хранится информация о пользователях, курсах, заданиях и результатах. В рамках интеграции разработан специальный LMS-модуль, позволяющий в учебном курсе создавать ссылки или активности, связанные с виртуальной лабораторией. Когда студент инициирует такую активность, LMS через встроенный интеграционный модуль отправляет запрос на сервер виртуализации для подготовки виртуального рабочего окружения.

Интеграционный модуль реализует бизнес-логику обмена, он передаёт параметры и получает от сервера виртуализации данные доступа.

Аутентификация и авторизация пользователей осуществляются средствами LMS. Все категории пользователей входят в систему под своими учётными записями, после чего их роль в рамках курса определяет доступные действия.

Для безопасности интеграционный модуль проверяет права вызывающего пользователя перед выполнением операций. Таким образом, единая система авторизации распространяется и на внешние ресурсы, сессия пользователя в LMS служит основанием для доступа к виртуальной машине без повторного ввода пароля. Данный принцип реализуется с помощью обмена токенами API, позволяющими безопасно передавать

контекст пользователя внешнему инструменту. В результате достигается бесшовная интеграция, где студент или преподаватель переходят к работе в виртуальной лаборатории одним нажатием из LMS.

Сервер виртуализации отвечает за создание, запуск и остановку виртуальных машин. Интеграционный модуль посылает серверу виртуализации команды через API, такие как, создать VM из шаблона, включить или выключить, передать файлы и др. После запуска VM сервер возвращает необходимые данные.

Управление виртуальными машинами и ресурсами включает распределение нагрузки, например, в случае запуска нескольких экземпляров VM при одновременном обращении нескольких студентов, мониторинг производительности и оптимизацию использования облачных ресурсов [3].

Взаимодействие модулей для роли «Студент», представленное на рисунке 2, можно описать следующим образом.

Когда студент открывает задание лабораторной работы в LMS, LMS-модуль через интеграционный модуль отправляет запрос на сервер виртуализации. Последний запускает новый экземпляр виртуальной машины нужной конфигурации VM. Студенту в интерфейсе LMS отображается ссылка или встроенное окно, через кото-

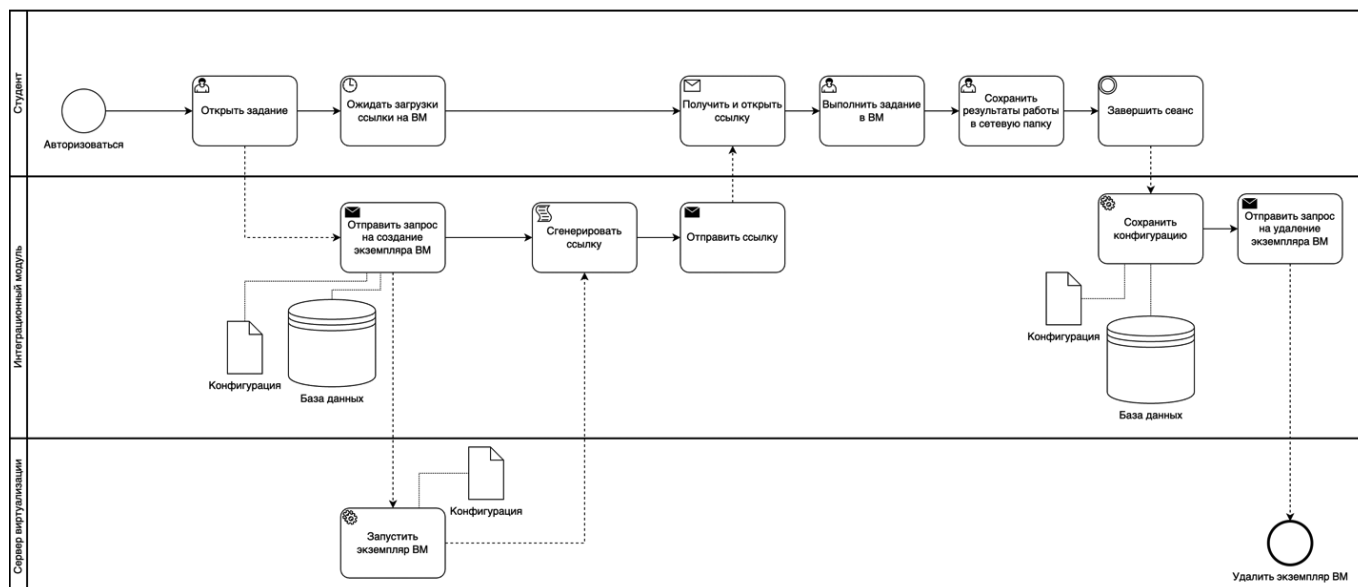


Рис. 2. BPMN-схема взаимодействия роли «Студент» и модулей

рое он получает доступ к виртуальной машине со специализированным ПО (рисунок 1). Все действия внутри VM выполняются студентом в виртуальной среде через удалённый рабочий стол. По завершении работы студент сохраняет результаты внутри VM. Далее студент завершает сеанс. Далее, виртуальная машина отключается и возвращается в исходное состояние, а конфигурация сохраняется для последующего запуска, таким образом освобождая ресурсы для других пользователей.

Таким образом, архитектура обеспечивает взаимодействие полного цикла.

Также важно отметить, что внешний сервер виртуализации изолирован от прямого доступа студентов, то есть все команды проходят через доверенный модуль LMS, что предотвращает несанкционированное использование облачных ресурсов.

Архитектура интеграции, представленная на рисунке 1, закладывает основу для функциональной модели системы, связывая техническую инфраструктуру с пользовательскими сценариями. Ниже рассматриваются роли и действия участников системы более формально, с точки зрения функциональных прецедентов использования.

Функциональная модель

Функционирование системы цифрового двойника виртуальной лаборатории можно описать через набор прецедентов (use case), отражающих типовые действия пользователей в рамках системы [4].

На рисунке 3 показана диаграмма прецедентов, выделяющая три основные пользовательские роли: сту-

дент, преподаватель и администратор. Диаграмма определяет границы системы и демонстрирует, как внешние пользователи взаимодействуют с функциями цифрового двойника. Ниже перечислены основные роли и их действия.

Студент после прохождения аутентификации в LMS получает доступ к курсу и лабораторным работам. Прецедент «Доступ к виртуальным машинам со специализированным ПО» означает возможность запустить через LMS необходимую виртуальную машину для выполнения практического задания. Получив доступ, студент выполняет практические задания в виртуальной среде, используя предоставленные инструменты.

По завершении работы студент сохраняет и передаёт результаты через LMS. Все действия студента требуют наличия активной учётной записи и регистрации на курс и права доступа к соответствующей виртуальной машине, что обеспечивается общим механизмом «Аутентификация и авторизация».

Преподаватель после входа в систему выполняет роль организатора и контролирующего участника лабораторных работ. Один из ключевых прецедентов «Доступ к результатам работы студентов». Преподаватель через интерфейс LMS открывает работы студентов, прикрепленные ими после выполнения заданий на виртуальных машинах. Он может просмотреть результаты, сохранённые студентами. Прецедент «Оценивание работ студентов», где преподаватель выставляет оценки и при необходимости оставляет комментарии или рекомендации. Оценки фиксируются в LMS, что завершает цикл проведения лабораторной работы. Преподаватель формулирует задания, выбирает требуемое ПО и при необходимости инициирует обновление виртуальных

Диаграмма прецедентов интеграции виртуальных машин в LMS

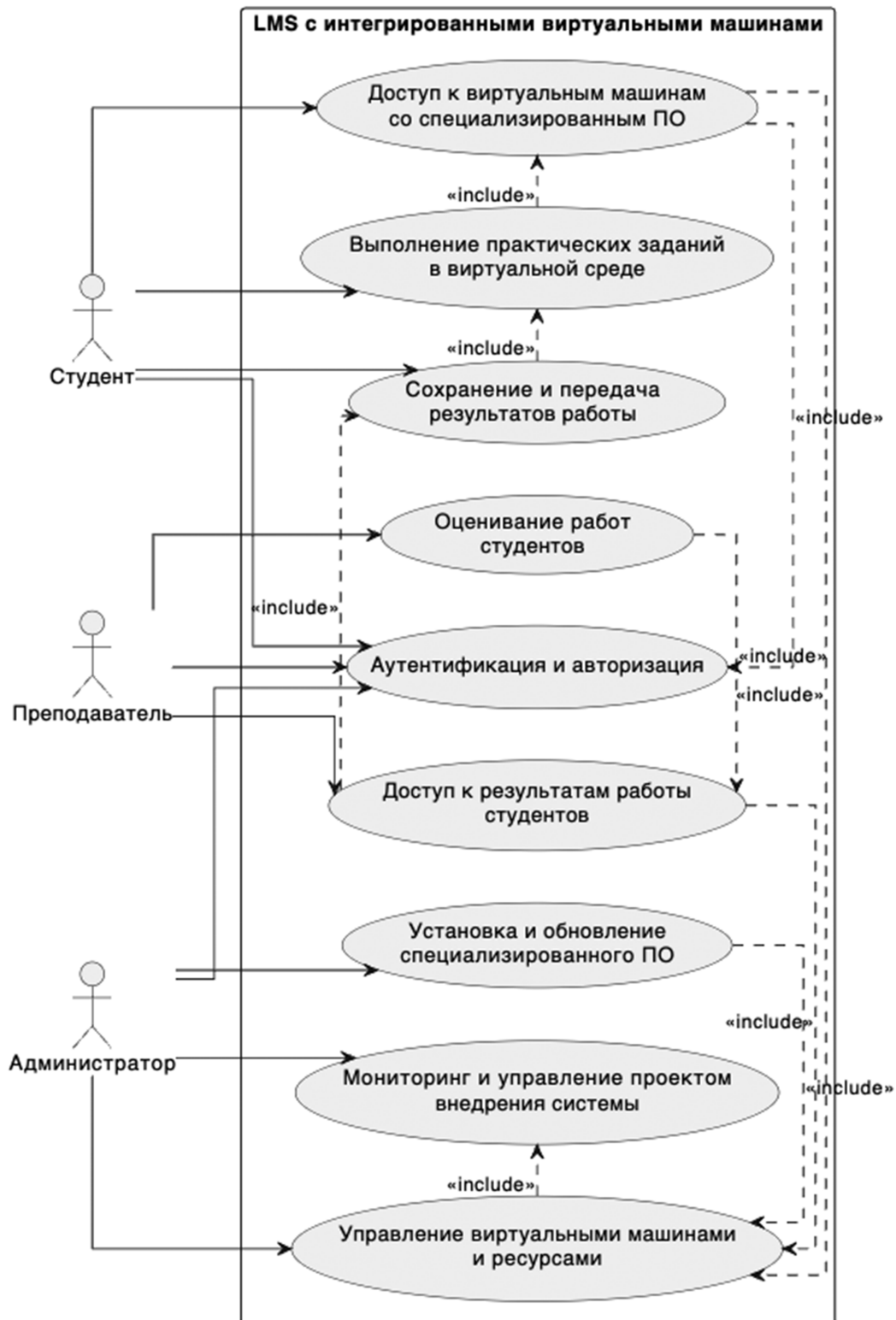


Рис. 3. Схема прецедентов для цифрового двойника компьютерной лаборатории

образов. На диаграмме (рисунок 3) это представлено прецедентом «Установка и обновление специализированного ПО». Данный прецедент выполняется администратором, которому преподаватель ставит задачу.

Администратор обеспечивает техническую поддержку и развитие системы. Прецедент «Управление виртуальными машинами и ресурсами», где администратор контролирует виртуальные машины, а именно, отсле-

живает их состояние, производительность, распределение нагрузки на сервер. Он решает задачи обеспечения достаточного количества одновременно работающих ВМ для запросов студентов, управляет пулом образов виртуальных машин для разных курсов, следит за централизованной установкой и обновлением ПО. Прецедент «Мониторинг и управление проектом внедрения системы» подразумевает общую функцию развития инфраструктуры, где администратор собирает метрики и обеспечивает бесперебойную работу. Кроме того, к обязанностям администратора относится реагирование на инциденты, устранение неполадок, восстановление работоспособности при сбоях и поддержка пользователей при возникновении технических сложностей при доступе к виртуальным машинам и LMS. Прецедент установки и обновления ПО, где администратор готовит образы ВМ с нужным ПО. Таким образом, роли преподавателя и администратора взаимодействуют в процессе поддержки цифрового двойника лаборатории, где преподаватель формулирует учебные потребности, администратор реализует их на техническом уровне.

Следует отметить, что аутентификация и авторизация включены как обязательное условие для всех ключевых действий. Данный механизм гарантирует, что только легитимные пользователи, обладающие правами в соответствии с ролевой моделью, могут выполнять соответствующие действия.

Описанная функциональная модель формализует процессы взаимодействия всех участников системы.

Преимущества и потенциал применения

Интеграция цифрового двойника виртуальной лаборатории в образовательный процесс обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционной организацией лабораторных занятий. Ниже перечислены ключевые из них, а также намечены потенциальные области и сценарии применения разработанной системы.

Виртуальная лаборатория, развернутая в облаке, доступна студентам круглосуточно и из любого места, где есть интернет. В отличие от физического компьютерного класса, ограниченного расписанием и вместимостью, цифровой двойник позволяет организовать работу без привязки ко времени и аудитории [5]. Это особенно актуально для обучающихся, совмещающих учёбу с работой, а также для зарубежных или удалённых студентов. Гибкость во времени повышает вовлечённость, то есть обучаемые могут вне занятий подключиться к виртуальной машине и выполнять задания, доводя навыки до уверенного уровня.

Облачная виртуализация лаборатории обеспечивает практически неограниченную масштабируемость.

Система способна одновременно обслуживать столько студентов, сколько требуется, путем запуска нужного числа виртуальных машин, ограниченного только вычислительными ресурсами облака, которые возможно расширить. Это решает проблему нехватки рабочих мест при большом потоке студентов. Такая модель динамического предоставления ресурсов соответствует современным принципам клауд-компьютинга. Учебное заведение, внедряющее подобную систему, может оптимизировать затраты, вместо оснащения нескольких физических классов дорогими рабочими станциями достаточно арендовать облачные мощности по мере необходимости.

Благодаря интеграции с LMS студенты и преподаватели работают в едином цифровом пространстве. Запуск виртуальной лаборатории осуществляется из кабинета курса, что упрощает организацию обучения. Преподаватель видит прогресс каждого студента, может сопоставить затраченное время и результаты, имеет централизованный журнал оценок. Студенты, в свою очередь, не путаются в множестве аккаунтов и сервисов — авторизация едина. Кроме того, цифровой формат всех действий открывает возможности для сбора и анализа данных об образовательном процессе, то есть LMS фиксирует действия пользователей, и эти данные можно использовать для выявления затруднений, дальнейшего развития и оптимизации.

Цифровой двойник позволяет моделировать такие ситуации, которые затруднительно или рискованно воспроизвести на реальном оборудовании. Студенты могут проводить эксперименты с настройками системы, пробовать различные инструменты без боязни вывести из строя физический компьютер или программную среду в лаборатории [6]. В случае ошибочных действий достаточно перезапустить виртуальную машину или откатиться к исходному образу. С точки зрения безопасности, даже выполнение потенциально опасных операций в виртуальной среде не несёт риска для инфраструктуры вуза, так как всё изолировано внутри ВМ. Таким образом, расширяется диапазон допускаемых учебных экспериментов. В промышленности одним из главных достоинств цифровых двойников является возможность избежать вреда для людей и окружающей среды при испытаниях. В обучении это эквивалентно защите оборудования и самих студентов от нежелательных последствий ошибок, что особенно важно при работе с оборудованием.

Система открывает новые возможности для сотрудничества между образовательными организациями. Университеты могут обмениваться доступом к своим виртуальным лабораториям, предоставляя студентам больше вариантов практики. Например, вуз, не имеющий собственного дорогостоящего программного ком-

плекса, может воспользоваться виртуальной лабораторией партнёрского вуза [7]. Такая модель способствует распространению лучших практик и выравниванию качества образования.

Таким образом, преимущества внедрения цифрового двойника виртуальной лаборатории проявляются на нескольких уровнях:

- для студентов в удобстве и качестве обучения;
- для преподавателей в оптимизации методической работы;
- для администрации в эффективном использовании ресурсов и расширении образовательных услуг.

Данный подход вписывается в общий тренд развития электронного обучения и применения сквозных цифровых технологий в образовании.

Заключение

В ходе проведенного исследования разработана и описана функциональная модель цифрового двойника виртуальной компьютерной лаборатории, интегрированной с системой дистанционного обучения. В модели формализованы основные роли пользователей, сценарии взаимодействия и архитектура системы, обеспечивающая реализацию этих сценариев. Показано, что с помощью предложенной архитектуры достигается полнофункциональная эмуляция учебной лаборатории информатики в онлайн-среде. Цифровой двойник лаборатории воспроизводит не только технические воз-

можности, но и организационные процессы, благодаря тесной связи с LMS.

Основные результаты работы состоят в следующем:

- предложена структура программных модулей и компонентов, позволяющая подключать виртуальные машины к образовательному процессу в LMS;
- представлено формальное описание функционала системы с точки зрения пользователя, охватывающее все стадии проведения лабораторной работы удалённо;
- произведён анализ свойств разработанного решения и показано его превосходство над традиционными подходами в ряде ситуаций.

Практическая значимость полученной модели состоит в возможности её непосредственного внедрения в систему дистанционного обучения для расширения практико-ориентированного обучения.

Таким образом, работа закладывает основу для дальнейших исследований и разработок в области цифровых двойников учебных лабораторий. Совмещение современных технологий облачной виртуализации с потребностями образовательного процесса открывает качественно новые горизонты для организации практических занятий. Предложенная функциональная модель может быть масштабирована и адаптирована для различных дисциплин и учебных условий, способствуя эволюции системы высшего образования в русле цифровой трансформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. El Saddik A. Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies // IEEE MultiMedia. — 2018. — Vol. 25, no. 2. — P. 87–92.
2. Heradio R. et al. Virtual and Remote Labs in Education: A Bibliometric Analysis // Computers & Education. — 2016. — Vol. 98. — P. 14–38.
3. Павличева Е.Н., Ромашкова О.Н. Информационные процессы поддержки принятия решений в многоуровневых образовательных системах / Москва, 2022.
4. Заболотникова В.С., Ромашкова О.Н. Анализ методов кластеризации для эффективного управления процессами в налоговой службе // Фундаментальные исследования. 2017. № 9–2. С. 303–307.
5. Ромашкова О.Н., Орехова Е.В. Единая образовательная информационная среда организации и поддержки открытого и непрерывного образования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2016. № 1. С. 128–134.
6. Каптерев А.И., Ромашкова О.Н., Чискидов С.В. Опыт применения факторного и кластерного анализа в цифровой трансформации образования // Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. 2022. № 4 (62). С. 29–43.
7. Ломовцев Р.С., Ромашкова О.Н., Пономарева Л.А. Алгоритм интеллектуальной поддержки управленческих решений для региональной образовательной системы // Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. № 10 (71). С. 35–43.

© Михеева Елена Олеговна (eo.mikheeva@gmail.com); Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru); Чискидов Сергей Васильевич (chis69@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»