ISSN 2658-5014 (Print) СИИТ ISSN 2686-7044 (Online)
http://siit.ugatu.su 2026. Т. 8, № 2(26)
СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Научная статья

УДК 004.8 DOI: 10.54708/SIIT-2026-no2-p38 EDN: ZXWKYR

Организация архитектуры виртуальной лаборатории

К. А. Ризванов • В. З. Абдуллин

Уфимский университет науки и технологий

В данной статье рассматривается внедрение технологий виртуальной реальности и удаленного доступа для электронного обучения в университете. Представлены проектирование и разработка архитектуры, веб-ориентированной виртуальной лаборатории, поддерживающей лабораторную подготовку в области автоматизации технологических процессов. Предлагаемая архитектура предоставляет ряд преимуществ для учреждений, предлагающих курсы электронного и дистанционного обучения по промышленной автоматизации. Она облегчает процесс обучения через с применением телекоммуникационных каналов связи, предоставляя веб-интерфейс, который позволяет удаленным пользователям получать доступ к физическим моделям технологических процессов и управлять ими, а также проверять программы управления, разработанные на основе интеллектуальных методов, через виртуальную модель без риска повреждения оборудования. Представленная архитектура не зависит от конкретной конфигурации аппаратного или программного обеспечения контроллеров и предлагает возможность повышения эффективности педагогического процесса, развития креативности студентов, практических навыков и компетенций, с акцентом на возможность разработки альтернативных решений в области автоматического управления технологическими системами.

Виртуальная лаборатория; промышленная автоматизация; виртуальная модель учебного процесса; физическая модель учебного процесса.

Введение

В период повсеместного внедрения технологии Индустрия 4.0 возникает задача оптимизации планирования ресурсов. Одним из таких решений является создание виртуальной лаборатории. Виртуальная лаборатория – это распределённая гетерогенная среда, дающая возможность специалистам и студентам совместно работать над проектами вне зависимости от их местоположения [Sha25]. Такая среда должна обеспечивать:

- проведение экспериментов с реальными физическими устройствами [Шук20];
- выполнение симуляций посредством вычислительных приложений [Кул16];
- взаимодействие участников, занятых общей тематикой при создании цифрового двойника [Кул90].

Этот подход к проектному обучению, объединяющий электронное обучение с реальными экспериментами, отражает актуальный тренд в современной образовательной практике.

Проблемы традиционного онлайн-обучения и потребность в практическом опыте

Типичные онлайн-курсы зачастую ограничиваются предоставлением учебных материалов и базовых инструментов для совместной работы. Однако для дисциплин, требующих развития практических навыков, такого формата недостаточно.

Ризванов К. А., Абдуллин В. З. Организация архитектуры виртуальной лаборатории // СИИТ. 2026. Т. 8, № 2(26). С. 38-46. DOI: 10.54708/SIIT-2026-no2-p38. EDN: ZXWKYR.

Rizvanov K. A., Abdullin V. Z. “Organization of the virtual laboratory architecture” // SIIT. 2026. Vol. 8, no. 2(26), pp. 38-46. DOI: 10.54708/SIIT-2026-no2-p38. EDN: ZXWKYR. (In Russian).

Динамичные изменения в обществе и технологиях формируют запрос на инженеров с широкой квалификацией – выходящей за рамки узкой технической специализации. В связи с этим критически важно давать студентам опыт, максимально приближённый к реальным производственным условиям.

Реальные эксперименты особенно ценны, поскольку:

- дают ощущение практического тестирования;
- позволяют наблюдать эффекты в реальном времени.

Роль практических занятий в инженерном образовании

Ключевым требованием к инженерному образованию остаётся обеспечение достаточного объёма практических занятий. Они позволяют студентам:

- проверять методы, изученные в теоретических курсах;
- отрабатывать навыки посредством лабораторных экспериментов.

Многие инженерные программы уже рассматривают виртуальные лаборатории как неотъемлемый компонент образовательного процесса.

Преимущества виртуальных лабораторий:

- снижение затрат на приобретение оборудования;
- возможность проведения экспериментов в любом месте;
- отсутствие риска повреждения оборудования;
- свобода от ограничений официального графика работы лаборатории.

Отличие виртуальной лаборатории от веб-симуляции

Хотя идея виртуальных лабораторий не нова и существует множество систем удалённого доступа в различных инженерных областях, важно понимать: виртуальная лаборатория – не просто веб-симуляция. Это реальный эксперимент, проводимый в физической лаборатории, но доступный, управляемый и контролируемый удалённо через веб-инструменты.

Ограниченность чисто симуляционных решений приводит к необходимости их дополнения возможностями управления технологическим процессом через программируемые логические контроллеры (ПЛК).

Архитектурные и технологические решения

Создание полноценных экспериментальных установок требует значительных затрат, поэтому образовательные учреждения не могут обеспечить весь спектр необходимых экспериментов. Решение предлагает веб-архитектура, обеспечивающая:

- удалённый доступ к физической модели технологического процесса [Pav04];
- управление моделью через ПЛК посредством Интернета.

Ключевые возможности концепции:

- применение интеллектуальных методов управления (нечёткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети);
- использование виртуальных моделей для проверки алгоритмов (защита оборудования от повреждений при ошибках);
- видео- и аудиотрансляция для создания ощущения присутствия;
- визуальная обратная связь для контроля хода эксперимента.

Такая архитектура обеспечивает:

- единую учебную среду для очных и заочных студентов;
- минимизацию различий в качестве обучения [Tep07].

Педагогическая оценка эффективности

С педагогической точки зрения первостепенная задача — оценить эффективность виртуальной лаборатории в сравнении с традиционными лабораторными методами обучения.

Ключевой вопрос: что более результативно для повышения успеваемости студентов — веб-обучение или традиционное преподавание [Фах07].

Методика оценки включала:

- анализ результативности различных учебных программ;
- применение специальных оценочных вопросников.

Цели оценки:

- совершенствование функциональности виртуальной лаборатории;
- выявление эффективных подходов к обучению в сфере автоматизации технологических процессов.

Концепция виртуальной лаборатории

Концепция виртуальной лаборатории выстраивается с учётом потребностей удалённого проведения экспериментов и современных информационных технологий. В процессе трансформации традиционная лаборатория автоматического управления преобразуется в виртуальную – благодаря возможностям, которые предоставляют телекоммуникационные каналы связи.

Основная задача системы – обеспечить студентам доступ к главному серверу лаборатории из любой удалённой точки. С её помощью обучающиеся могут:

- разрабатывать и проводить эксперименты в сфере автоматического управления [Кул05, Куз24];
- тестировать корректность предлагаемых алгоритмов управления, используя виртуальные модели;
- отслеживать результаты экспериментов в режиме реального времени [Log07].

В классических лабораториях практическое освоение дисциплин, связанных с автоматизацией и управлением, зачастую жёстко ограничено временными рамками. Отведённого времени обычно хватает лишь на то, чтобы:

- изучить инструмент автоматизации;
- освоить его программирование;
- разобраться в особенностях конкретной технологии;
- выполнить первичную проверку проекта.

При этом студенты сталкиваются со значительной нагрузкой: практически вся поступающая информация для них нова [Мир25]. В результате за семестр они успевают сформировать лишь формальное решение задачи автоматизации, но не имеют возможности полноценно проверить его корректность.

Виртуальная лаборатория выступает инновационным инструментом электронного обучения, где акцент в экспериментах смещён в сторону анализа и синтеза.

Рассмотрим фрагмент организационной структуры ПАО «ОДК-УМПО» (рис. 1). В настоящее время большинство студентов УУНИТ попадает в различные подразделения. Для решения задачи планирования будем использовать виртуальную информационную систему Битрикс24. На рис. 2 приведен механизм приглашения сотрудников для выполнения проектов.

С точки зрения пользователей существуют следующие важные функции:

1. **Независимость от клиентского оборудования.** Пользователи могут не иметь выбора, какой компьютер использовать на своей стороне. Обычно они не хотят устанавливать специфическое программное обеспечение перед началом экспериментов.

2. **Гибкость программирования.** Для правильной разработки программы управления студентам необходимы знания в области комбинационных схем, последовательностных схем, логического управления. Задачи управления могут быть решены различными способами с использованием фундаментальных техник программирования. В случае разработки структуры управления на основе интеллектуальных методов студенты используют специализированное программное обеспечение (например, Matlab/Simulink, Битрикс и др.), которое с помощью специальных библиотек позволяет автоматическую генерацию кода схемы симуляции

в соответствующий программируемый логический контроллер (ПЛК). Эта гибкость облегчает независимое мышление и креативность.

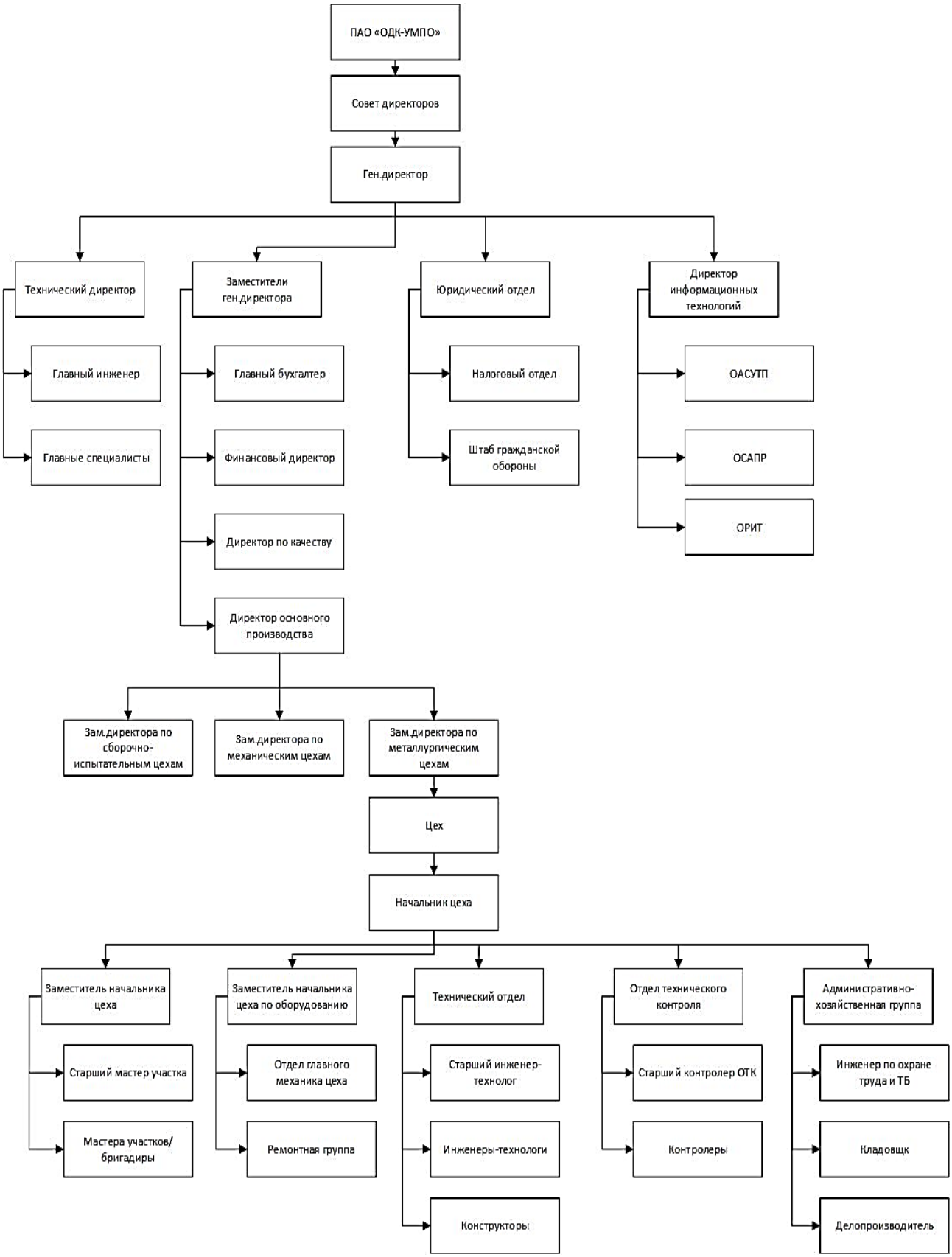

Рис. 1. Фрагмент организационной структуры ПАО «ОДК-УМПО»

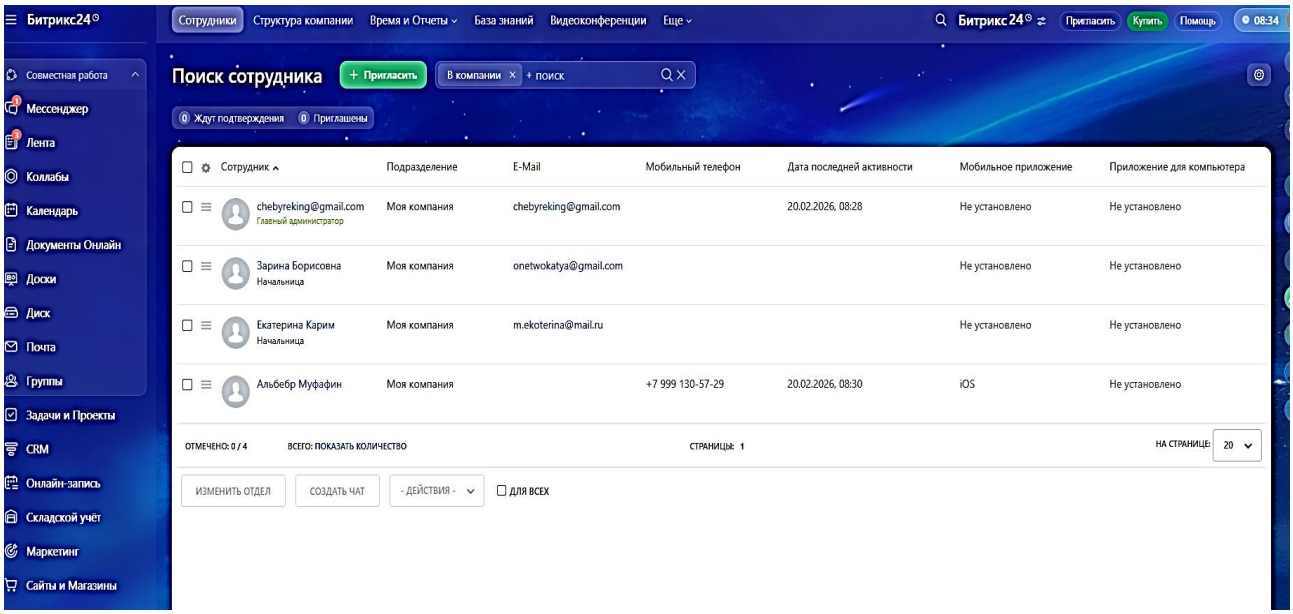

Рис. 2. Приглашение сотрудника для организации планирования

3. **Искусственный интеллект.** Встроенные генеративные модели позволяют генерировать создание различных схем, что облегчает работу студента выступать не только в качестве обучаемого, но и обучающего, позволяя ему корректировать настройки модели.

4. **Командная работа.** Задачи управления могут быть назначены как индивидуумам, так и командам. Члены группы могут находиться в разных местах и общаться через электронную почту, одновременно наблюдая за живым видеопотоком на своих компьютерах.

Проектирование системы

Ограничения и требования к проектированию можно перечислить следующим образом:

- разработка конкретной концепции виртуальной лаборатории, вплоть до ее аппаратно-технического решения.
- проектирование и внедрение конкретных физических моделей подсистем технологического процесса.
- взаимосвязь и активация отдельных рабочих мест для работы как в онлайн, так и в офлайн-режимах.
- внедрение и активация локальной компьютерной сети.
- внедрение и активация сервера для виртуального удаленного доступа к отдельным лабораторным рабочим местам через Интернет.

Виртуальная лаборатория включает несколько рабочих мест с ПК, часть из которых взаимосвязана с входами и выходами малых логических контроллеров. Они могут служить для работы в онлайн-режиме, а также для формальной подготовки задач в офлайн-режиме. Поскольку в учебном процессе формальная подготовка задач занимает значительно больше времени, чем собственно функциональная настройка алгоритмов, в лаборатории предусмотрены рабочие места, используемые только в офлайн-режиме или для целей симуляции/моделирования.

В виртуальной лаборатории все рабочие места подключены через локальную сеть к лабораторному серверу, через который возможен доступ «удаленного рабочего стола» к каждому рабочему месту или использование общих лабораторных сервисов всеми рабочими местами. Лабораторный сервер позволяет управление конкретными рабочими местами через удаленные компьютеры, подключенные к Интернету, и администрирование их использования студентами.

Лаборатория в целом была построена от нижнего (технологического) уровня к верхнему виртуальному пользовательскому уровню. Физические модели технологических процессов были построены в лаборатории. Их аналоговые и бинарные входы/выходы взаимосвязаны с ПЛК. Программное обеспечение программирования и визуализации установлено на независимых ПК, которые подключены к ПЛК и используются для работы с конкретной моделью технологического процесса в онлайн-режиме. Часть ПК предназначена для подготовки программ управления и визуализации в офлайн-режиме и может использоваться как резервные ПК.

Рабочие места для онлайн-работы включают следующие физические модели технологических процессов (примеры):

- модель перепуска воздуха за компрессором [Шук20];
- динамическая модель компрессора ГТД [Кул16];
- цифровой двойник ГТД [Кул90] и др.

Физические модели технологических процессов служат только для работы в лаборатории. Студенты способны проверять корректность алгоритмов управления через виртуальную модель технологического процесса, которая подключена к реальным входам и выходам ПЛК. После проверки программы управления студенты готовы работать с реальной физической моделью технологического процесса в лаборатории.

Виртуальная модель является очень мощным инструментом для проверки программы управления. Выполнение программ на реальном оборудовании без тестирования их через виртуальную модель может привести к столкновениям и повреждению системы. Виртуальная модель помогает проверить программу, предотвращая повреждение оборудования.

Пользователь активирует и управляет виртуальной лабораторией с помощью страницы веб-сервера. Домашняя страница виртуальной лаборатории предоставляет студентам полную учебную среду, которая, помимо основной информации, такой как определение основной цели виртуальной лаборатории ПЛК, требований к студентам, образовательных целей и спецификации архитектуры виртуальной лаборатории, также предоставляет им список физических моделей технологических процессов вместе с кратким описанием, а также подробное описание того, как разработать конкретную программу управления для управления технологическим процессом.

Пример реализации приведен на рис. 3 с применением механизма диаграммы Ганта.

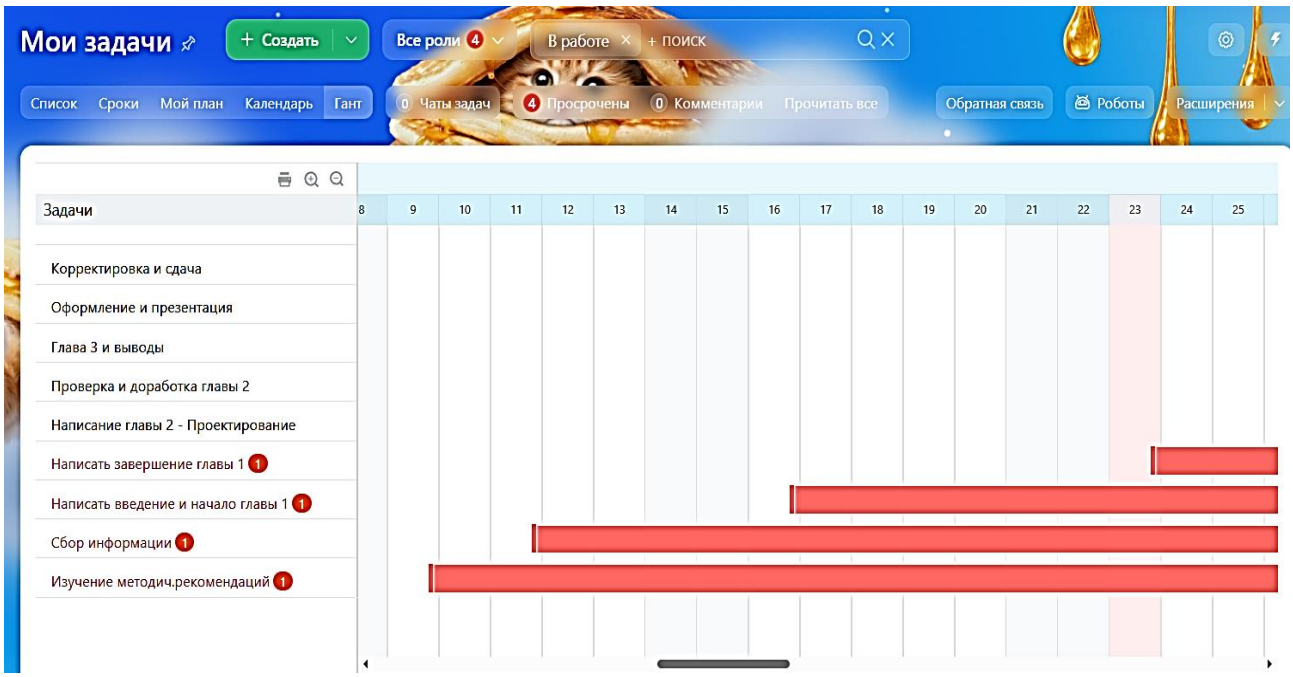

Рис. 2. Организация планирования

Виртуальная лаборатория требует использования коммуникационных инструментов для эффективного использования пользователями, которые могут работать над одним и тем же лабораторным приложением в команде. Веб-среда виртуальной лаборатории оснащена сетевыми камерами, функцией чата и электронной почтой для уменьшения влияния естественных барьеров, существующих для веб-приложений.

Заключение

Платформа виртуальной лаборатории выступает результативной альтернативой традиционному лабораторному оснащению в рамках инженерного образования. Её ключевые особенности:

- функционирование в режиме реального времени через веб-интерфейс из любой локации;
- возможность дистанционного контроля реальной системы посредством веб-камеры;
- гибкость настройки для различных образовательных программ.

Платформа адаптируется как для академического обучения студентов, так и для профессиональной подготовки специалистов промышленной сферы, заинтересованных в онлайн-лабораторных курсах.

Исследование эффективности внедрения. В рамках исследования проанализировано внедрение веб-приложения виртуальной лаборатории и проведена оценка его образовательной эффективности. Результаты подтвердили позитивное влияние платформы на учебный процесс:

- студенты получили расширенный практический опыт;
- зафиксированы более высокие учебные результаты;
- улучшились показатели на экзаменах.

При этом обе сравниваемые группы изначально находились в равных условиях по всем параметрам.

Ключевые преимущества веб-технологии:

- *разнообразие практического опыта* – позволяет осваивать различные структуры управления, включая решения на базе интеллектуальных методов, что соответствует целям учебных курсов;
- *экономическая эффективность* – снижает затраты за счёт коллективного использования лабораторного оборудования;
- *гибкость проведения экспериментов* – даёт возможность многократного повторения опытов без пространственно-временных ограничений и риска повреждения оборудования;
- *наглядность экспериментальной среды* – обеспечивает визуальное погружение в лабораторную среду через трансляцию в реальном времени;
- *развитие самостоятельности* – способствует формированию навыков самообучения у студентов.

Социально-экономическая значимость

Доступность платформы через Интернет открывает дополнительные возможности:

- для людей с ограниченными возможностями;
- для других категорий, уязвимых на рынке труда.

Проект вносит вклад:

- в повышение профессиональной компетентности обучающихся;
- в освоение современных методов автоматизации технологических процессов;
- в улучшение шансов на трудоустройство выпускников.

Таким образом, виртуальная лаборатория не только оптимизирует образовательный процесс, но и способствует социальной интеграции обучающихся через развитие востребованных профессиональных навыков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

[Log07] Loginovskiy O. V., Rizvanov K. A., Kulikov G. G. Application of BI-principles in the gate project management system to create a digital twin of the GTE // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics. 2020. Vol. 20, No. 1. P. 16-26. EDN: LIMCJJ.

[Pav04] Pavlov A., Pavlov D., et al. Logical-static planning complex technical objects operations and functioning modes // Journal of Applied Engineering Science. 2025. Vol. 23, No. 2. P. 384-393. EDN: GPPHUR.

[Sha25] Shalini Sh., Gaganjot K. Evaluating learner perception through cognitive interactive pedagogy: An empirical study // Systems Engineering and Information Technologies. 2025. Vol. 7, No. 3(22). P. 3-10. EDN: IYNEMS.

[Куз24] Кузнецов А. А., Сапожников А. Ю. Модели многоагентного цифрового двойника корпоративной прикладной IT-платформы // СИИТ. 2024. Т. 6, № 3(18). С. 83-94. EDN: GQIHPZ.

[Кул05] Куликов Г. Г., Сапожников А. Ю. и др. Архитектура структуры цифрового двойника интегрированной IT-платформы для распределенного, многовариантного проектирования объектов машиностроения // Вестник УГАТУ. 2021. Т. 25, № 2 (92). С. 86-92. EDN: XKNLGZ.

[Кул16] Куликов Г. Г., Горюнов И. М. и др. Расчетно-аналитический метод идентификации структуры и параметров квадратичной динамической модели компрессора ГТД как подобъекта управления, контроля и диагностики // Вестник УГАТУ. 2024. Т. 28. № 1 (103). С. 99-108. EDN: XRKOYR.

[Кул90] Куликовских И. М. Цифровой двойник процессов регенерации в системах жизнеобеспечения // Труды МАИ. 2025. № 141. EDN: ZRRMZW.

[Мир25] Миронов В. В., Гусаренко А. С., Тугузбаев Г. А. Персонализация графических конструкторских документов: влияние на трудоемкость учебного проектирования // СИИТ. 2025. Т. 7, № 4(23). С. 101-115. EDN: EJLSPM.

[Тер07] Тертышник М. И. Оценка конкурентоспособности нефтехимических предприятий // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2021. Т. 10, № 4 (37). С. 263-266. EDN: AOJQMN.

[Фах07] Фахруллина А. Р. Модели и методы проектирования программных систем для обработки разнородных данных (на примере образовательно-производственной среды) // СИИТ. 2023. Т. 5, № 5 (14). С. 39-51. EDN: GNKHGA.

[Шук20] Шукалюк В. А. Методика оценки влияния внутренних утечек в пневматическом регуляторе перепуска воздуха за компрессором // СИИТ. 2025. Т. 7. № 2 (21). С. 86-95. EDN: GHMSVD.

Loginovskiy O. V., Rizvanov K. A., Kulikov G. G. Application of BI-principles in the gate project management system to create a digital twin of the GTE // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics. 2020. Vol. 20, No. 1. P. 16-26. EDN: LIMCJJ.

Pavlov A., Pavlov D., et al. Logical-static planning complex technical objects operations and functioning modes // Journal of Applied Engineering Science. 2025. Vol. 23, No. 2. P. 384-393. EDN: GPPHUR.

Shalini Sh., Gaganjot K. Evaluating learner perception through cognitive interactive pedagogy: An empirical study // Systems Engineering and Information Technologies. 2025. Vol. 7, No. 3(22). P. 3-10. EDN: IYNEMS.

Kuznetsov A. A., Sapozhnikov A. Yu. Models of a multi-agent digital twin of a corporate applied IT platform // SIIT. 2024. Vol. 6, No. 3(18). P. 83-94. (In Russian). EDN: GQIHPZ.

Kulikov G. G., Sapozhnikov A. Yu., et al. Architecture of the digital twin structure of an integrated IT platform for distributed, multivariate design of mechanical engineering objects // Vestnik UGATU. 2021. Vol. 25, No. 2 (92). P. 86-92. (In Russian). EDN: XKNLGZ.

Kulikov G. G., Goryunov I. M., et al. Calculation and analytical method for identifying the structure and parameters of a quadratic dynamic model of a gas turbine engine compressor as a subobject of control, monitoring and diagnostics // Vestnik UGATU. 2024. Vol. 28. No. 1 (103). P. 99-108. (In Russian). EDN: XRKOYR.

Kulikovskikh I.M. Digital twin of regeneration processes in life support systems // Proceedings of MAI. 2025. No. 141. (In Russian). EDN: ZRRMZW.

Mironov V. V., Gusarenko A. S., Tuguzbaev G. A. Personalization of graphic design documents: influence on the labor intensity of educational design // SIIT. 2025. Vol. 7, No. 4(23). P. 101-115. (In Russian). EDN: EJLSPM.

Tertyshnik M. I. Assessment of the competitiveness of petrochemical enterprises // Azimuth of Scientific Research: Economics and Management. 2021. Vol. 10. No. 4 (37). P. 263-266. (In Russian). EDN: AOJQMN.

Fakhrullina A. R. Models and methods for designing software systems for processing heterogeneous data (using the example of an educational and industrial environment) // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 5 (14). P. 39-51. (In Russian). EDN: GNKHGA.

Shukalyuk V. A. Methodology for assessing the impact of internal leaks in a pneumatic air bypass regulator behind a compressor // SIIT. 2025. Vol. 7. No. 2 (21). P. 86-95. (In Russian). EDN: GHMSVD.

ОБ АВТОРАХ | ABOUT THE AUTHORS

РИЗВАНОВ Константин Анварович
Уфимский университет науки и технологий, Россия.
rizvanovk@bk.ru ORCID: 0000-0002-7427-5395.
Канд. техн. наук, доц. каф. автоматизированных систем управления. Иссл. в обл. информационных технологий.

АБДУЛЛИН Вильдан Зульфарович
Уфимский университет науки и технологий, Россия.
rizvanovk@bk.ru
Аспирант каф. автоматизированных систем управления. Иссл. в обл. киберспортивной индустрии.

RIZVANOV Konstantin Anvarovich
Ufa University of Science and Technology, Russia.
rizvanovk@bk.ru ORCID: 0000-0002-7427-5395.
Cand. Techn. Sci. (PhD), Assoc. Prof. Automated Control Systems Dept. Research in the field of information technology.

ABDULLIN Vildan Zulfarovich
Ufa University of Science and Technology, Russia.
rizvanovk@bk.ru
Postgraduate student. Automated Control Systems Dept. Research in the field of the esports industry.

МЕТАДАННЫЕ | METADATA

Заглавие: Организация архитектуры виртуальной лаборатории.

Авторы: Ризванов К. А., Абдуллин В. З.

Аннотация: В статье рассматривается внедрение технологий виртуальной реальности и удаленного доступа для электронного обучения в университете. Представлены проектирование и разработка архитектуры веб-ориентированной виртуальной лаборатории, поддерживающей лабораторную подготовку в области автоматизации технологических процессов. Предлагаемая архитектура предоставляет ряд преимуществ для учреждений, предлагающих курсы электронного и дистанционного обучения по промышленной автоматизации. Она облегчает процесс обучения с применением телекоммуникационных каналов связи, предоставляя веб-интерфейс, который позволяет удаленным пользователям получать доступ к физическим моделям технологических процессов и управлять ими, а также проверять программы управления, разработанные на основе интеллектуальных методов, через виртуальную модель без риска повреждения оборудования. Представленная архитектура не зависит от конкретной конфигурации аппаратного или программного обеспечения контроллеров. Это предлагает возможность повышения эффективности педагогического процесса, развития креативности студентов, практических навыков и компетенций с акцентом на разработку альтернативных решений в области автоматического управления технологическими системами.

Ключевые слова: Виртуальная лаборатория; промышленная автоматизация; виртуальная модель учебного процесса; физическая модель учебного процесса.

Язык: Русский.

Статья поступила в редакцию 2 марта 2026 г.

Title: Organization of the virtual laboratory architecture.

Authors: Rizvanov K. A., Abdullin V. Z.

Abstract: This article discusses the implementation of virtual reality and remote access technologies for e-learning at a university. It presents the design and development of a web-based virtual laboratory that supports laboratory training in the field of process automation. The proposed architecture offers several advantages for institutions offering e-learning and distance education courses in industrial automation. It facilitates the learning process through the use of telecommunication channels, providing a web-based interface that allows remote users to access and control physical models of technological processes, as well as to verify control programs developed based on intelligent methods through a virtual model without the risk of equipment damage. The presented architecture does not depend on the specific configuration of the controllers' hardware or software and offers the possibility of improving the efficiency of the educational process, developing students' creativity, practical skills, and competencies, with a focus on the development of alternative solutions for the automatic control of technological systems.

Key words: Virtual laboratory; industrial automation; virtual model of the educational process; physical model of the educational process.

Language: Russian.

The article was received by the editors on 2 March 2026.