УДК 378.147:004.94

Абдуллин В.З.
аспирант кафедры автоматизированных систем управления
Уфимский университет науки и технологий
(УУНИТ)
Россия, г. Уфа

Ризванов К.А., к.т.н., доцент
доцент кафедры автоматизированных систем управления
Уфимский университет науки и технологий
(УУНИТ)
Россия, г. Уфа

АРХИТЕКТУРА И МЕТОДИКА РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Аннотация. *Рассматривается задача организации инженерного эксперимента, при котором студент и физическая установка находятся в разных точках, однако студент сохраняет возможность удалённого управления установкой и наблюдения за её работой в реальном времени, что обеспечивает качество практической подготовки на уровне очных лабораторных работ. Предлагается трактовать виртуальную лабораторию не только как средство удалённого доступа, но и как управляемый процесс, разделённый на стадии: подготовка, виртуальная отладка, физическое исполнение и анализ. Для каждой стадии определены требования к инфраструктуре и разграничена ответственность между студентом и оборудованием. Описана трёхконтурная организация среды, объединяющая физические макеты, вычислительные модели и пользовательский веб-интерфейс. Отдельно рассмотрена организационная*

поддержка: распределение ролей, планирование этапов и контроль прогресса на примере учебного процесса УУНИТ.

Ключевые слова: *виртуальная лаборатория, инженерный эксперимент, программируемый логический контроллер (ПЛК), цифровой двойник, автоматизация технологических процессов.*

Abdullin V.Z.
Postgraduate Student
Ufa University of Science and Technology (UUST)
Russia, Ufa

Rizvanov K.A., Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof.
Assoc. Prof.
Ufa University of Science and Technology (UUST)
Russia, Ufa

ARCHITECTURE AND METHODOLOGY OF A DISTRIBUTED VIRTUAL LABORATORY

Abstract. *The paper addresses the organization of an engineering experiment in which the student and the physical facility are located remotely, while the quality of training is not inferior to on-site laboratory work. The virtual laboratory is treated not merely as a means of remote access, but as a managed process with distinct stages: preparation, virtual validation, physical execution, and analysis. For each stage, requirements for infrastructure and the division of responsibility between the student and the equipment are defined. A three-contour organization of the environment is described, combining physical mock-ups, computational models, and a web-based user interface. The organizational framework — role distribution, stage planning, and progress control — is analyzed separately, based on the experience of Ufa University of Science and Technology.*

Key words: *virtual laboratory, engineering experiment, programmable logic controller (PLC), digital twin, process automation.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Инженерное образование опирается на практический опыт. Дистанционные форматы часто сжимают этот опыт: студент осваивает теорию и программные инструменты, но не сталкивается с «сопротивлением» реального объекта, его инерцией, запаздыванием и неидеальностью датчиков. Программная симуляция не заменяет физический эксперимент, поскольку воспроизводит лишь ту часть поведения объекта, которая заложена в математическую модель.

Решением является распределённая виртуальная лаборатория. Однако её эффективность зависит не столько от пропускной способности канала связи, сколько от методологии проведения эксперимента. Ниже предлагается рассматривать такую лабораторию как строго управляемый процесс, что кардинально меняет требования к её архитектуре и организации.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ КАК УПРАВЛЯЕМЫЙ ПРОЦЕСС

Традиционный подход «удалённого доступа» часто приводит к тому, что драгоценное время работы с оборудованием тратится на освоение интерфейса, а не на анализ **Ошибка! Источник ссылки не найден.**. Для решения этой проблемы предлагается четырёхстадийный цикл лабораторной работы:

1. **Подготовка.** Студент изучает спецификацию установки, ограничения и критерии качества управления. Работа ведётся на офлайн-рабочем месте.
2. **Виртуальная отладка.** Разработанный алгоритм проверяется на вычислительной модели (цифровом двойнике), связанной с

реальными входами и выходами контроллера. Это критически важный этап, позволяющий безопасно тестировать сложные алгоритмы (включая нечёткую логику и нейронные сети) без риска повреждения физического оборудования 2.

3. **Физическое исполнение.** Проверенный код загружается в ПЛК, управляющий реальным макетом. Студент наблюдает за процессом через веб-интерфейс и видеотрансляцию. Доступ к этой стадии открывается только после успешной виртуальной отладки.
4. **Анализ результатов.** Собранные данные сопоставляются с теоретическими расчётами, оценивается качество управления и формируется отчёт.

Такой подход формирует культуру безопасной инженерной разработки и смещает акцент на синтез и оптимизацию систем управления.

3. ТРЁХКОНТУРНАЯ АРХИТЕКТУРА СРЕДЫ

Инфраструктура лаборатории строится по иерархическому принципу и включает три взаимосвязанных контура:

- **Физический контур:** реальные макеты технологических процессов (например, модель перепуска воздуха за компрессором 3 или динамическая модель компрессора ГТД 4), оснащённые датчиками и подключённые к ПЛК.
- **Вычислительный контур:** рабочие станции с инструментами программирования и визуализации. Часть станций работает автономно для подготовки и симуляции, часть связана с контроллерами для онлайн-работы.
- **Интерфейсный контур:** лабораторный сервер, объединяющий рабочие места в локальную сеть и обеспечивающий защищённый удалённый доступ через Интернет. Сервер администрирует очередь к установкам и организует видеотрансляцию.

Важное свойство архитектуры — независимость от конкретной модели ПЛК или программной среды, что позволяет модернизировать оборудование поэтапно 5.

4. ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В УУНИТ

Студенты УУНИТ проходят практику в подразделениях промышленных предприятий, например в ПАО «ОДК-УМПО» (Рисунок 1).

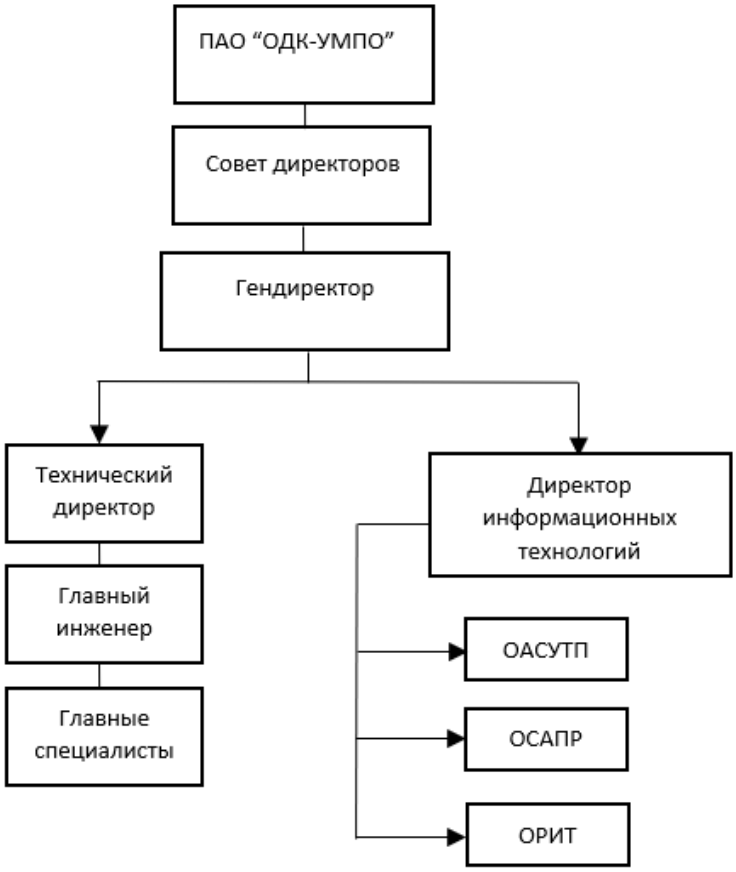


Рисунок 1. Фрагмент организационной структуры ПАО «ОДК-УМПО»

Работа над лабораторными заданиями выстраивается как проектная деятельность. Для планирования применяются современные корпоративные информационные системы, которые обеспечивают распределение ролей, визуализацию этапов (диаграммы Ганта) и контроль прогресса 7. Пример организации планирования проекта в корпоративной информационной системе показан на Рисунке 2.

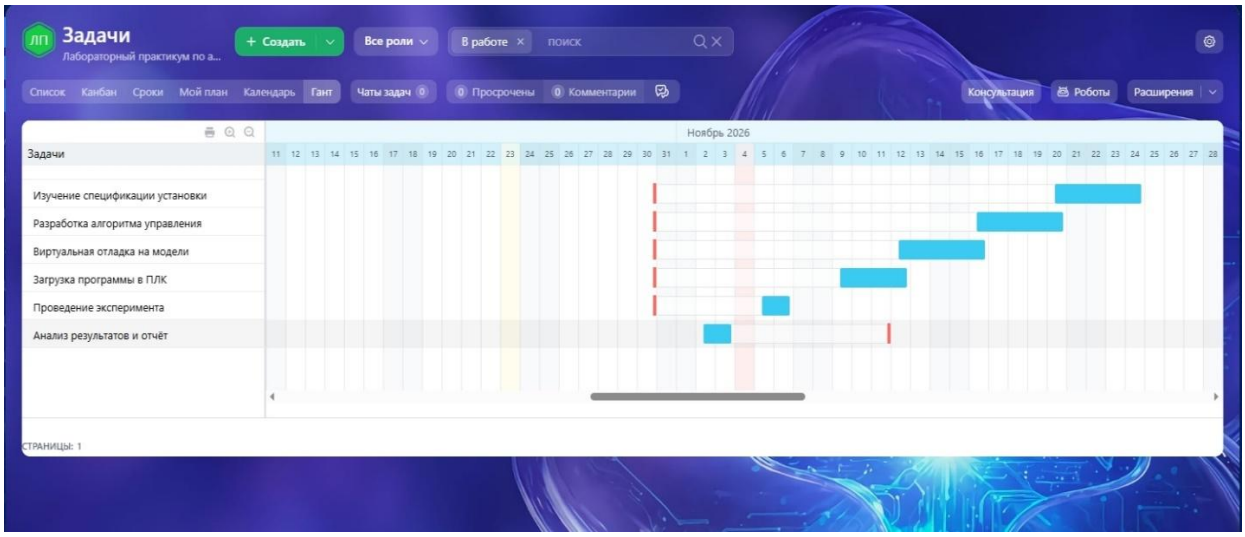


Рисунок 2. Организация планирования проекта в корпоративной информационной системе

С точки зрения пользователя система гарантирует:

1. **Независимость от клиентского оборудования:** работа ведётся через браузер без установки специфического ПО.
2. **Гибкость программирования:** поддержка автоматической генерации кода из специализированных сред моделирования (например, Matlab/Simulink) для последующей загрузки в ПЛК.
3. **Интеграцию инструментов ИИ:** использование генеративных моделей для помощи в построении и корректировке схем управления.
4. **Командную работу:** участники из разных локаций решают общие задачи, используя встроенные средства коммуникации.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Педагогическая оценка платформы проводилась путём сравнения учебных результатов экспериментальных и контрольных групп, а также анализа восприятия обучающихся с использованием специальных оценочных вопросников 9. Результаты подтвердили позитивное влияние: студенты, использовавшие виртуальную лабораторию, продемонстрировали более глубокое понимание принципов автоматизации и лучшие результаты на экзаменах при равных стартовых условиях.

Распределённая лаборатория раскрывает свои преимущества, когда она организована как процесс, а не просто как канал доступа. Разбиение эксперимента на стадии с разной «ценой ошибки» позволяет безопасно отрабатывать сложные алгоритмы и эффективно использовать дорогостоящее оборудование. Опыт УУНИТ показывает, что данный подход применим как в академическом обучении, так и в профессиональной переподготовке, способствуя повышению профессиональной компетентности и социальной интеграции обучающихся.

Использованные источники:

1. Миронов В.В., Гусаренко А.С., Тугузбаев Г.А. Персонализация графических конструкторских документов: влияние на трудоёмкость учебного проектирования // СИИТ. 2025. Т. 7, № 4 (23). С. 101–115. EDN: EJLSPM.
   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.
2. Куликовских И.М. Цифровой двойник процессов регенерации в системах жизнеобеспечения // Труды МАИ. 2025. № 141. EDN: ZRRMZW.
   Kulikovskikh I.M. Digital twin of regeneration processes in life support systems // Proceedings of MAI. 2025. No. 141. (In Russian). EDN: ZRRMZW.
3. 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.
   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.

4. Куликов Г.Г., Горюнов И.М. и др. Расчётно-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.
   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.
5. Куликов Г.Г., Сапожников А.Ю. и др. Архитектура структуры цифрового двойника интегрированной IT-платформы для распределённого, многовариантного проектирования объектов машиностроения // Вестник УГАТУ. 2021. Т. 25, № 2 (92). С. 86–92. EDN: XKNLGZ.
   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.
6. 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.
   Kuznetsov A.A., Sapozhnikov A.Y. 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.
7. 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.

8. 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.
9. 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.
10. 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.
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.