

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи

Сидоров Никита Евгеньевич

**МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СОЗДАНИЯ
ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ
СРЕДЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ОИЯИ**

Специальность 2.3.5 — математическое и программное
обеспечение вычислительных систем, комплексов и
компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Дубна — 2025

Работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина Международной межправительственной организации Объединенный институт ядерных исследований.

Научный руководитель: **Панебратцев Юрий Анатольевич**

доктор физико-математических наук, профессор, начальник отдела разработки и создания образовательных программ Учебно-научного центра ОИЯИ, начальник научно-экспериментального отдела физики тяжелых ионов на RHIC (Отделение № 4 физики на встречных пучках).

Официальные
оппоненты:

Сухомлин Владимир Александрович

доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией открытых информационных технологий факультета ВМК МГУ.

Артамонов Алексей Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой анализа конкурентных систем (№65) Института международных отношений НИЯУ МИФИ.

С электронной версией диссертации можно ознакомиться на официальном сайте Объединенного института ядерных исследований в информационно-телекоммуникационной сети Интернет по адресу: <https://dissertations.jinr.ru>. С печатной версией диссертации можно ознакомиться в Научно-технической библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь диссертационного
совета ОИЯИ.05.01.2022.П, д.ф.-м.н.

Земляная Елена Валериевна

Общая характеристика работы

В диссертационной работе представлены разработанные методы, программное обеспечение и созданная на этой основе Электронная информационно-образовательная среда в Объединенном институте ядерных исследований (ЭИОС ОИЯИ) — совокупность электронных информационных и образовательных ресурсов и телекоммуникационных технологий и средств для обеспечения информационной поддержки научных исследований, подготовки высококвалифицированных кадров и информирования широкой общественности о деятельности научной организации. В ЭИОС ОИЯИ входит совокупность программного инструментария для подготовки специалистов к работе на экспериментальных ядерно-физических установках: Открытый образовательный портал ОИЯИ (ООП ОИЯИ) [12], онлайн-курсы и другие цифровые научно-образовательные ресурсы по ядерной физике, физике элементарных частиц и конденсированных сред [1–3;5;7;16]; виртуальные лабораторные практикумы для изучения ядерной физики и ее прикладных направлений с использованием реальных экспериментальных данных [14]. Также в ЭИОС ОИЯИ входят автоматизированные информационные системы (АИС) для поддержки пользовательских программ базовых физических установок ОИЯИ [17] и программный инструментарий для поддержки мультимедийных выставочных экспозиций ОИЯИ.

Диссертационное исследование выполнялось в рамках Проблемно-тематического плана по темам 09-9-1139-2019 (Учебно-научного Центра ОИЯИ) и 02-1-1066-2007 (Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ).

Актуальность темы исследования

В наши дни интеграция науки, образования и достижений современных технологий является важнейшим фактором для развития экономики, наукоемких технологий и социальной структуры общества. В современных условиях решение проблемы интеграции образования и науки означает налаживание эффективного и устойчивого взаимодействия университетов, научных центров и институтов.

Повышение роли решения научных задач в процессе обучения и перевод их в исследовательскую сферу обеспечит студентам непосредственный доступ в мир науки, расширит возможности их исследовательской деятельности.

Для решения этих задач необходимо объединение усилий различных университетов и научных центров для создания новых учебных курсов и исследовательских практик с учетом современных методов в образовании. На данный момент важнейшей задачей является создание ЭИОС в ОИЯИ с использованием технологий дистанционного и онлайн-обучения для подготовки специалистов к работе в современных научных экспериментах на уникальных исследовательских установках. Такой формат обучения особенно актуален для подготовки специалистов в области ядерной физики, физики частиц и конденсированных сред. Современные информационные системы, мультимедийные и интерактивные методики в сочетании с реальными данными, полученными в научных центрах, могут в значительной мере решить эту проблему. ОИЯИ как мировой научно-исследовательский центр, объединяющий университеты и исследовательские центры из разных стран, является крупнейшей площадкой, на базе которой впервые создается ЭИОС для поддержки фундаментальных и прикладных междисциплинарных исследований, учитывающая специфику деятельности международной научной организации.

Целью диссертационной работы является разработка методов и программных средств для создания ЭИОС для поддержки научных исследований в международной научной организации, включающей разработку и внедрение методик для создания: АИС пользовательских программ экспериментальных установок, комплекса виртуальных лабораторных работ по ядерной физике и онлайн-курсов, программно-аппаратного комплекса (ПАК) для поддержки мультимедийных выставочных экспозиций ОИЯИ.

Для достижения поставленной цели автором были решены следующие задачи:

- формулировка требований и создание концепции ЭИОС в международной

научной организации;

- создание метода обработки заявок АИС; проектирование, разработка и введение в эксплуатацию АИС для поддержки пользовательской программы на исследовательском реакторе ИБР-2 и ускорительном комплексе NICA;
- проектирование и разработка программного инструментария — комплекса виртуальных лабораторных практикумов для изучения ядерной физики — на основе реальных экспериментальных данных, позволяющего проводить виртуальные эксперименты; применение разработанного программного инструментария для проведения студенческих практик;
- проектирование и создание ООП ОИЯИ;
- разработка методики создания онлайн-курсов с помощью современных технологий дистанционного обучения в сочетании с последними технологическими возможностями в области графического дизайна; разработка онлайн-курсов по тематике исследований, проводимых в лабораториях ОИЯИ;
- проектирование и разработка ПАК для создания мультимедийных выставочных экспозиций по тематике ОИЯИ, введение в эксплуатацию.

Научная новизна

1. Предложена концепция ЭИОС в международной научной организации.
2. Впервые был предложен и реализован метод полного жизненного цикла обработки заявок при создании АИС пользовательских программ базовых установок ОИЯИ, позволяющий автоматизировать информационные процессы и оптимизировать взаимодействие между участниками программ внутри системы.
3. Разработан метод создания программного инструментария — виртуальных практикумов по ядерной физике, основанный на интеграции и анализе реальных экспериментальных данных в виртуальной программной среде.

Научно-практическая значимость работы

1. На основе предложенной концепции ЭИОС для научной организации используются современные образовательные технологии для подготовки студентов университетов и повышения квалификации специалистов для экспериментальной работы, служит привлечением талантливой молодежи к участию в исследовательских проектах ОИЯИ, позволяет внедрить результаты из области фундаментальных и прикладных исследований в образовательный процесс.
2. На основе метода полного жизненного цикла разработана АИС обработки заявок пользовательских программ реактора ИБР-2 (IBR-2 User Club) для обеспечения электронной поддержки пользователей в организации экспериментов на установках импульсного реактора ИБР-2 (<https://ibr-2.jinr.ru>). АИС позволяет пользователям создавать электронные заявки на проведение экспериментов на исследовательских установках реактора: NERA, RTD, DN-6, DN-12, SKAT, EPSILON, FSD, HRFD, YuMO, GRAINS, REFLEX, REMUR, REGATA. Система обеспечивает полный жизненный цикл электронной заявки вплоть до доставки полученных экспериментальных данных пользователю. АИС введена в эксплуатацию в 2020 году и активно используется исследователями для проведения экспериментов на установках реактора ИБР-2. Разработанные подходы использованы при разработке аналогичной АИС “ARIADNA” для обеспечения электронной поддержки пользователей в организации экспериментов на облучательных станциях СОЧИ, СИМБО, ИСКРА, СИЯЭ ускорительного комплекса NICA.
3. Созданный программный инструментарий “Виртуальная лаборатория” позволяет проводить практические занятия по ядерной физике на физических факультетах университетов, а также индивидуально для студентов. Разработанные виртуальные лабораторные практикумы используются в университетах РФ и других странах мира, включая

Болгарию, Сербию, Египет, Мексику, Индию, Вьетнам, ЮАР.

4. Созданный ООП ОИЯИ (<https://edu.jinr.ru>) служит платформой для размещения онлайн-курсов и цифровых образовательных ресурсов для подготовки студентов университетов и специалистов по направлениям деятельности ОИЯИ.
5. На базе предложенной методики создания онлайн-курсов были разработаны материалы по ядерной физике, физике частиц и физике конденсированных сред, которые были размещены на международных платформах edX и Coursera, Национальной платформе открытого образования и ООП ОИЯИ. Востребованность учебных материалов подтверждается высокой статистикой просмотров и вовлеченности пользователей со всего мира (более 100 стран), использованием онлайн-курсов в университетах на базовых кафедрах ОИЯИ.
6. Предложенный метод создания ПАК для поддержки мультимедийных выставочных экспозиций ОИЯИ активно используется на постоянно действующих мультимедийных выставках: “Базовые установки ОИЯИ” (с 2021 г. в Доме культуры “МИР” ОИЯИ), “Зал ОИЯИ” (с 2022 г. в Музее Дубны), “NICA” (с 2022 г. в зале MPD, ОИЯИ), “iThemba LABS – JINR Corner” (с 2024 г. в Кейптауне); а также на передвижных выставках в университетах и научных центрах РФ и стран-партнеров ОИЯИ (Вьетнам, ЮАР, Сербия и др.).

Методология и методы исследования

В исследованиях для данной диссертационной работы были использованы методы системного анализа, анализа программного обеспечения и программной инженерии, технологии программирования, интернет-технологии (MySQL, php, JavaScript, ActionScript, AngularJS, Node.js, HTML, CSS), интернет-протоколы, организации взаимодействия программ, средства создания двумерной и трехмерной графики.

Положения, выносимые на защиту

1. Спроектированная концепция ЭИОС для поддержки фундаментальных и прикладных междисциплинарных исследований в международной научной организации, учитывающая ее специфику и требования по сравнению с традиционными ЭИОС, используемыми в образовательных организациях РФ.
2. Метод полного жизненного цикла заявок пользователей при создании АИС, обеспечивающий эффективную работу пользовательских программ экспериментальных базовых установок ОИЯИ, программный инструментарий.
3. Метод создания виртуальных лабораторных работ по ядерной физике, позволяющий использовать реальные экспериментальные данные в виртуальной программной среде.
4. Методика создания онлайн-курсов для ООП ОИЯИ и Национальной платформы образования, существенно повысившая восприятие преподаваемых дисциплин за счет комбинированного применения современных методов визуализации.
5. Метод создания и программный инструментарий для поддержки мультимедийных выставочных экспозиций ОИЯИ, обеспечивший эффективное и высокоуровневое представление истории развития, достижений и текущей научной деятельности ОИЯИ.

Степень достоверности

Достоверность результатов подтверждается тестированием и практическим использованием программного инструментария, подтвердившим его надежность и корректную работу.

Так, АИС обработки заявок пользовательской программы реактора ИБР-2 введена в эксплуатацию в 2020 году, за 2020-2022 год было обработано более 400 заявок пользователей. Регулярные доклады о ходе исследования и результатах работы обсуждались на сессиях Программно-консультативного комитета ОИЯИ

по физике конденсированных сред с 2019 по 2022 год.

Разработанный комплекс виртуальных лабораторных работ по ядерной физике постоянно развивается и активно используется при организации регулярных российских и международных студенческих практик с 2014 года, является одной из основных компонент инфоцентров ОИЯИ в РФ и странах-партнерах института.

Виртуальные лабораторные работы с 2020 года регулярно используются при проведении ежегодных научных школ для учителей, школьников и студентов.

Разработанные онлайн-курсы были размещены на международных открытых платформах онлайн-образования, ООП ОИЯИ и Национальной платформе открытого образования. Несмотря на то, что учебные материалы по ядерной физике и связанной с ней технологиям востребованы относительно узким кругом студентов и молодых специалистов, проведенный анализ показал, что использование онлайн-курсов имеет широкую аудиторию в мире, в том числе в странах, сотрудничающих с ОИЯИ, Национальным исследовательским ядерным университетом “МИФИ” и Госкорпорацией “Росатом”.

Разработанный ПАК для поддержки мультимедийных выставочных экспозиций ОИЯИ активно используется на действующих мультимедийных экспозициях: “Базовые установки” в Доме культуры “МИР” ОИЯИ (с 2021 года проведено более 400 экскурсий с посещаемостью более 12 000 человек), “Зал ОИЯИ” в Музее Дубны (с 2022 года), “NICA” в экспериментальном зале MPD (ЛФВЭ) (с 2022 года). В декабре 2024 года введена в эксплуатацию экспозиция “iThemba LABS – JINR Corner” в ЮАР.

Публикации и апробация

По теме диссертации подготовлено 18 научных публикаций [[1-18](#)], из них 8 работ опубликованы в рецензируемых изданиях, соответствующих требованиям к публикациям Положения о присуждении ученых степеней в ОИЯИ. Оформлен патент “Способ и система автоматизированного коллективного моделирования объекта” [[19](#)], опубликовано учебное пособие “Ядерная физика. 10-11 классы:

учебное пособие для общеобразовательных организаций” [20], мультимедийные материалы которого (<https://edu.jinr.ru/nucl-phys-for-school>) включены в материалы онлайн-курсов по ядерной физике.

Результаты исследований были представлены на 17 международных научных конференциях: NEC (2007, 2009, 2015, 2017, 2019), МКО (2008), HSCI (2013, 2014, 2015, 2017), ИТ’2017, 121-ая сессия Ученого совета ОИЯИ, International Festival of Science and Education’2019 (Novi Sad), и др.

Личный вклад

Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим.

Автор лично предложил концепцию ЭИОС в международной научной организации, лично разработал и применил метод полного жизненного цикла заявок АИС для пользовательских программ экспериментальных установок реактора ИБР-2 [17]. Спроектировал АИС, разработал пользовательский интерфейс, провел тестирование и внедрение АИС в эксплуатацию. Автор лично сформировал требования и спроектировал программный инструментальный “Виртуальная лаборатория” [4;6;9;11;14;18;20], принимал участие в создании пользовательского интерфейса. При создании онлайн-курсов автор лично разработал методику, сформировал требования разработки, принимал непосредственное участие в создании, публикации и сопровождении онлайн-курсов [1;2;8;10;13;15;16], развитии платформы ООП ОИЯИ [3;5;7;12]. Автор лично сформировал требования для проектирования ПАК для поддержки мультимедийных выставочных экспозиций ОИЯИ [19], руководил созданием и введением в эксплуатацию данного комплекса, а также является лицом, ответственным за его дальнейшую поддержку и развитие.

Соответствие диссертации паспорту специальности

В диссертационной работе присутствуют результаты, соответствующие следующим пунктам паспорта специальности 2.3.5:

3. Модели, методы, архитектуры, алгоритмы, языки и программные инструменты организации взаимодействия программ и программных систем.

7. Модели, методы, архитектуры, алгоритмы, форматы, протоколы и программные средства человеко-машинных интерфейсов, компьютерной графики, визуализации, обработки изображений и видеоданных, систем виртуальной реальности, многомодального взаимодействия в социокиберфизических системах.

Объем и структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка публикаций, списка литературы. Работа содержит 150 страниц и включает в себя 64 рисунка и 9 таблиц.

Основное содержание работы

Во **введении** обосновывается актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна. Представлены выносимые на защиту результаты и вклад автора в их получение.

В **первой главе** диссертационной работы проводится аналитический обзор ЭИОС в образовательных организациях РФ и разработанная концепция ЭИОС для поддержки научных исследований в международной научной организации на примере ОИЯИ. “Наличие ЭИОС, разнообразие и полнота решаемых в ней задач, степень ее интегрированности в IT-инфраструктуру и цифровую среду образовательной организации может рассматриваться в качестве индикаторов цифровой зрелости организации.”¹ Как правило, традиционные ЭИОС: обеспечивают оперативное взаимодействие между участниками образовательного процесса, предоставляют возможность удаленного обучения и фиксацию

¹ Основы проектирования электронной информационно-образовательной среды: монография / Г.И. Письменский, В.В. Киселев, Л.В. Неровный, С.В. Сафонова. — Москва : РУСАЙНС, 2024. — 104 с.

результатов, обеспечивают открытость информационных ресурсов. Функциональная модель ЭИОС и ее содержательная часть определяются видами образовательных программ, формами обучения, реализуемыми в образовательной организации. ЭИОС в образовательных учреждениях обычно включают в себя: официальный сайт организации, электронные расписания, личные кабинеты, электронные библиотеки, образовательный портал, онлайн-курсы и другие электронные образовательные ресурсы, а также другие системы, используемые в организации образовательного процесса. При этом, как указано в уже процитированной выше монографии Письменоского Г. И. и др (см. сноску на предыдущей странице) “действующая нормативная база не предъявляет жестких требований к структуре и компонентному составу ЭИОС, оставляя право определения и выбора решений за образовательной организацией”.

Для ЭИОС в международной научной организаций автором диссертации были сформулированы следующие требования — ЭИОС в ОИЯИ должна:

- предоставлять информационный инструментарий для участия в научных исследованиях,
- предоставлять информационный инструментарий для подготовки кадров,
- предоставлять информационный инструментарий для широкого информирования общества о научной деятельности организации.

Предложенная концепция ЭИОС для научной организации должна включать в себя следующие компоненты:

- АИС для крупных инфраструктурных проектов ОИЯИ;
- виртуальные лабораторные практикумы для изучения ядерной физики и ее прикладных направлений;
- ООП ОИЯИ;
- онлайн-курсы и современные образовательные ресурсы по тематике деятельности ОИЯИ для студентов университетов и молодых ученых, а также мультидисциплинарные образовательные ресурсы для студентов и

школьников о применении ядерной физики в науках о жизни и материаловедении;

- ПАК для поддержки мультимедийных выставочных экспозиций по тематике ОИЯИ в странах-участницах, странах-партнерах и в информационных центрах ОИЯИ.

Научные мультимедийные выставочные экспозиции и образовательные материалы необходимы для корректного информирования широкой аудитории о научных задачах и достижениях института, популяризации науки.

Современные онлайн-курсы, созданные с участием ученых и инженеров непосредственно на производственных участках и базовых установках, виртуальные лабораторные работы с использованием реальных экспериментальных данных помогают подготавливать студентов и молодых специалистов к участию в исследовательских программах ОИЯИ [8;10;13]. Пользовательские программы базовых установок важны для дистанционного участия в экспериментах широкого круга специалистов, находящихся как в ОИЯИ, так и за его пределами. При создании ЭИОС для научной организации необходимо использовать самые современные информационные технологии и новые методы создания программных инструментариев.

Во **второй главе** описывается разработка метода полного жизненного цикла обработки заявок пользователей АИС пользовательских программ базовых установок ОИЯИ. Импульсный реактор ИБР-2, созданный в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ (ЛНФ ОИЯИ), — это уникальный инструмент для исследования фундаментальных свойств нейтрона, а также исследований в области физики конденсированного состояния. В диссертационной работе была спроектирована пользовательская программа реактора ИБР-2, позволяющая проводить эксперименты с исследуемыми образцами с помощью одной из установок экспериментального зала (спектрометры, дифрактометры или другие) в онлайн-режиме. Важной частью пользовательской программы является система подачи, оценки и распределения заявок от пользователей, а также своевременное распределение задач и

онлайн-контроль проведения экспериментов.

На момент проектирования АИС для ИБР-2 уже существовала система обработки заявок пользователей. Данная система позволяла сотрудникам ЛНФ ОИЯИ собирать и подготавливать пользовательские заявки для проведения экспериментов. Была автоматизирована часть процессов, однако многие операции по-прежнему приходилось выполнять вручную при помощи ответственных за пользовательскую программу сотрудников. Помимо этого, система использовала устаревшие интернет-технологии, пользовательский интерфейс требовал значительной переработки.

Автором диссертации был проведен анализ требований к данной системе, предложен метод полного (непрерывного) жизненного цикла заявки пользователя — перенос всех выполняемых участниками пользовательской программы операций внутри АИС (рисунок 1), спроектирована и создана АИС на базе веб-приложения с использованием современных языков программирования и интернет-технологий [17].

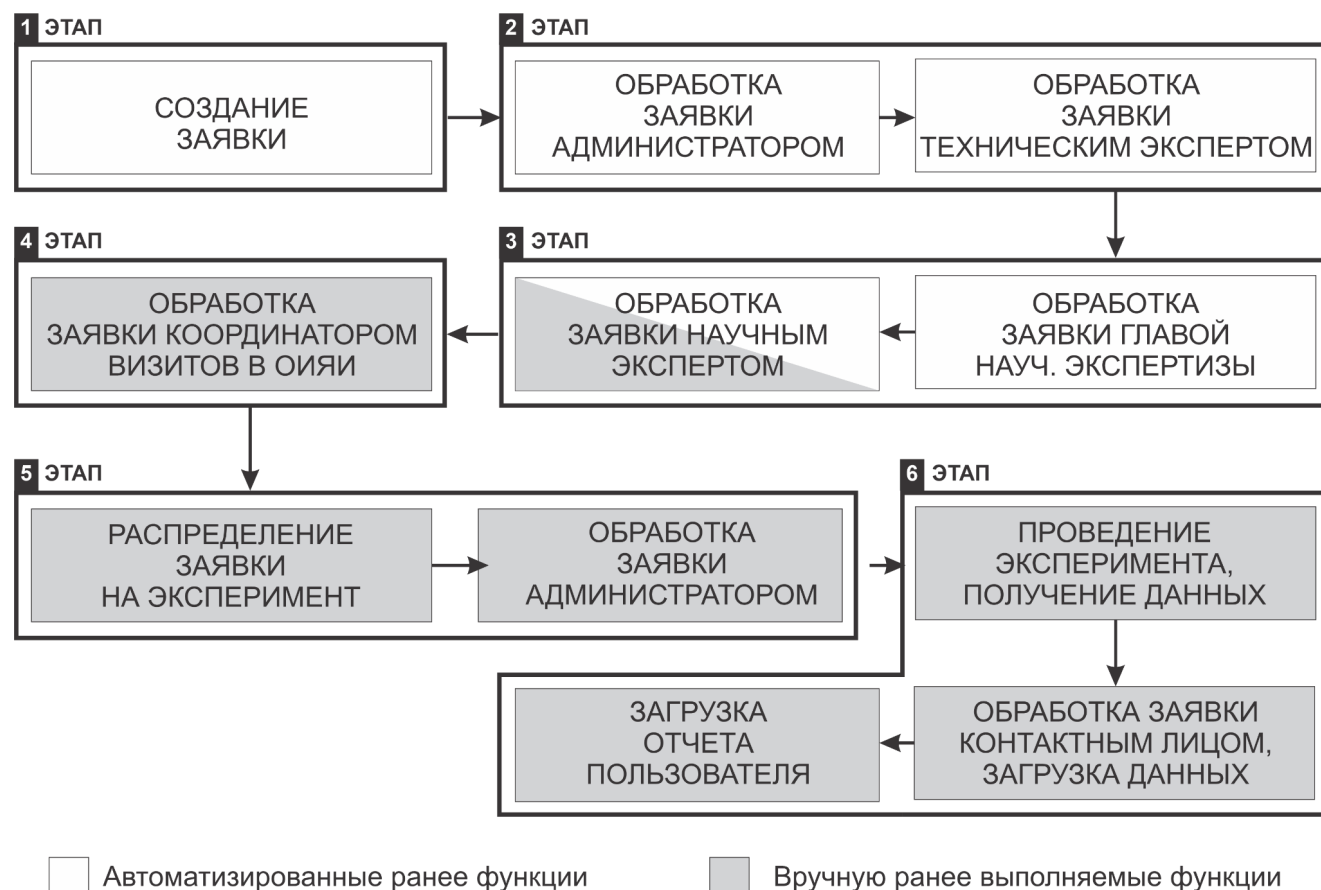


Рисунок 1 — Схема обработки заявки АИС пользовательской программы ИБР-2

Предложенный метод позволил полностью автоматизировать весь процесс прохождения заявок пользователей на всех стадиях за счет создания соответствующих ролей в системе, внедрения статусов заявок, графика выполнения задач и автоматического оповещения пользователей о требуемых действиях. Внедрение данного метода при разработке АИС привело к сокращению трудозатрат, устранению рутинных операций, ускорению процессов обработки и преобразования информации. Система автоматического оповещения пользователей на основе расписания исполнения задач привела к своевременному и полному сбору заявок, а также их обработке, исключая простои и задержки выполнения экспериментов. Важным элементом пользовательской программы ИБР-2 также является возможность автоматического сбора и подготовки статистических данных для анализа эффективности проделанной экспериментальной работы. Разработанные на базе данного метода АИС используются на базовых установках ОИЯИ.

Третья глава посвящена разработке метода и реализации программного инструментария — “Виртуальная лаборатория” для изучения ядерной физики, основанная на сочетании виртуального оборудования и реальных экспериментальных данных [9;11]. В главе приводятся методы создания ПО — виртуальных практикумов — с помощью различных программных сред (LabView, Macromedia Flash, HTML5/JS) и способ интеграции практикумов в систему управления обучением (Learning Management System (LMS)) — платформу, используемую для организации работы с онлайн-курсами и программами обучения.

Проведение опытов является неотъемлемой частью экспериментальных наук. Это наиболее эффективный способ получать знания об определенных концепциях и принципах в такой области исследований, как ядерная физика. Для подготовки студентов и специалистов к работе на ядерно-физическом экспериментальном оборудовании необходимо проводить практикумы по ядерной физике. Помимо университетов, необходимо проводить данные практикумы и для старшеклассников физико-математического профиля. К сожалению, далеко не все

университеты имеют возможность организовать практикум по ядерной физике в виду отсутствия соответствующего оборудования и необходимых радиационных условий. В таких случаях является востребованным использование программного инструментария — виртуальных лабораторных работ.

Автором диссертации были сформулированы ключевые требования к данному инструментарию:

- Изучение пользователем экспериментального оборудования, и впоследствии умение проводить реальный эксперимент аналогично виртуальному.
- Предоставление возможности пользователю осуществлять набор и анализ реальных экспериментальных данных в рамках виртуальной среды.
- Обеспечение доступности данного инструментария в режиме-онлайн для пользователей со всего мира посредством сети Интернет.
- Фиксирование процесса освоения материала на базе проверочных заданий.

Важнейшим требованием является возможность работы ученика с реальными экспериментальными данными, собранными с действующих экспериментальных установок с использованием различных типов современных детекторов (детекторы временной отметки на основе микроканальных пластин, полупроводниковые детекторы, детекторы на основе кремниевых фотоумножителей и др.). Это обеспечивает высокую образовательную ценность поскольку позволяет включить в образовательный процесс работу с самым современным экспериментальным оборудованием. На рисунке 2 представлено сравнение виртуального и реального эксперимента на примере лабораторной работы с радиоактивным источником.

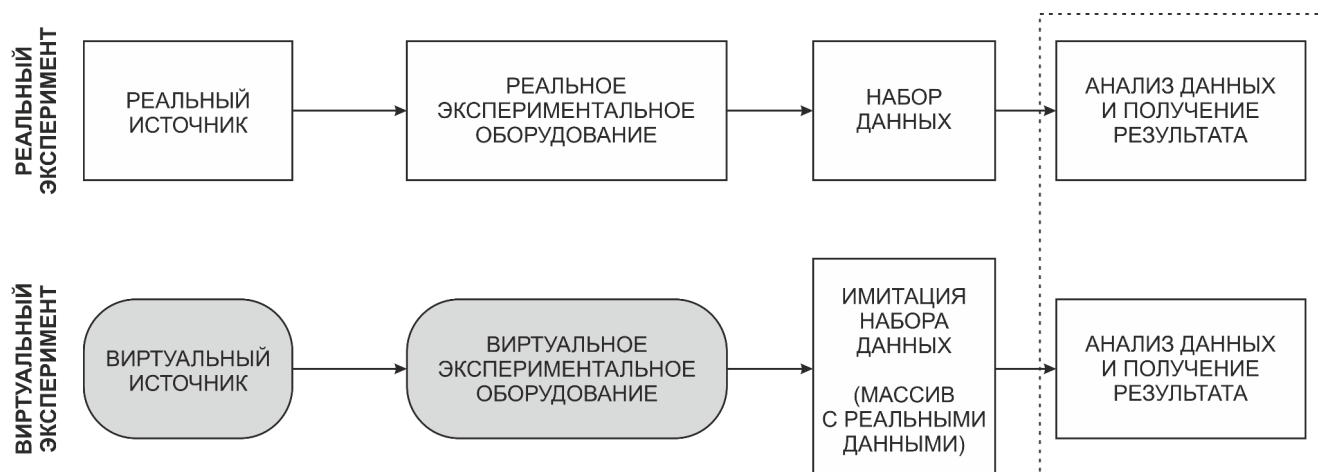


Рисунок 2 — Схема сравнения виртуального и реального эксперимента на примере лабораторной работы с радиоактивным источником

Практическая часть виртуальной лабораторной работы отличается от реальной, проводимой в специальных лабораторных условиях, лишь тем, что ученик работает с виртуализированными приборами и радиоактивными источниками [18]. Для этого автором диссертации были созданы виртуальные устройства, которые выглядят и функционируют как настоящее экспериментальное оборудование. Количество и последовательность действий, которые должен выполнить ученик, полностью соответствуют тем процедурам, которые следует выполнять в случае использования реального оборудования. Полученный результат полностью аналогичен тому, который студент получил бы, выполняя реальный эксперимент. После успешного прохождения виртуального практикума ученик может быть допущен к работе на реальной установке. Предложенный метод создания программного инструментария виртуальной лабораторной работы представлен на рисунке 3.

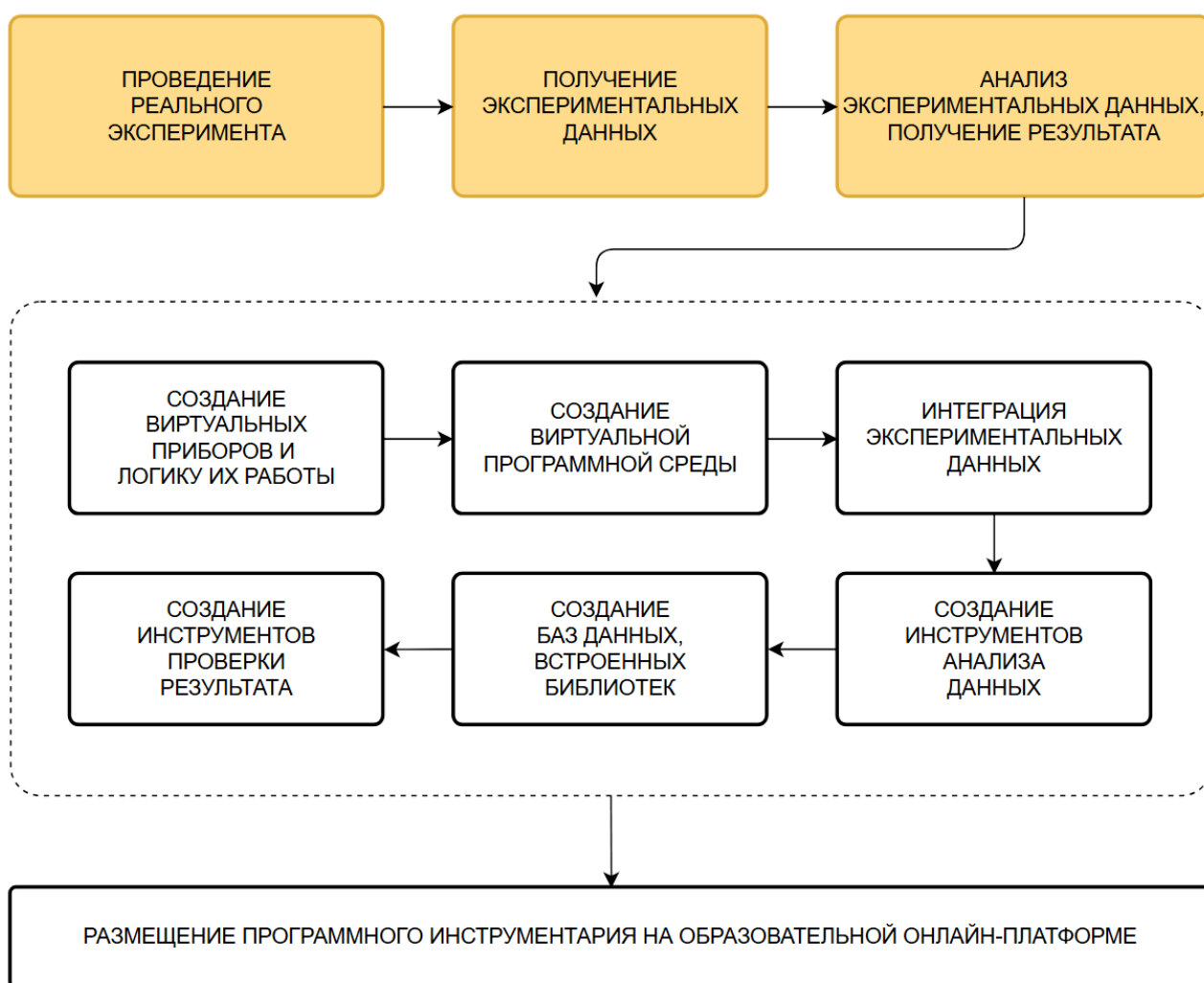


Рисунок 3 — Схема метода создания программного инструментария

Для создания изображений экспериментального оборудования автором диссертации было выбрано профессиональное ПО для 3D-моделирования — Autodesk 3ds Max, Maxon Cinema 4D. С помощью данного ПО был разработан набор растровых изображений с различными состояниями приборов и элементов экспериментальной установки. Далее с помощью технологии Canvas, языка программирования JavaScript, CSS осуществлялась верстка страницы с подгрузкой изображений приборов и полученного с реальной экспериментальной установки массива данных в формате JSON. Для удобной структуризации материала и контроля усвоения знаний полученные веб-страницы интегрировались в LMS Moodle.

В рамках диссертационной работы был разработан комплекс виртуальных работ по ядерной физике и детекторам сигналов [14], объединенных в следующие

тематические разделы:

- Лаборатория ядерного деления [4;6]
- Лаборатория гамма-спектроскопии
- Лаборатория детекторов и обработки данных

Для каждого раздела была разработана теоретическая часть, практические занятия и контрольные задания на проверку знаний.

В **четвертой главе** описывается методика создания онлайн-курсов, концепция ООП ОИЯИ.

Метод создания традиционных онлайн-курсов, производимый непосредственно в аудитории со студентами часто имеет существенный ряд недостатков, таких как: недостаточное качество видео- и аудиозаписи, отсутствие монтажа, отсутствие структуры курса, неразборчивый текст и рисунки на доске, перегруженность лекций и длительное время воспроизведения, отсутствие контроля усвоения учебного материала в виде проверочных заданий с возможностью хранения результатов, длительная загрузка видеофайлов, низкие статистические данные: большая доля отказов при просмотре, низкая степень вовлеченности пользователя и др. Также при интеграции графического материала в онлайн-курс — слайдов презентации — часто не соблюдаются графические правила оформления, отсутствует дизайн курса.

В рамках диссертационной работы были предложены методы создания онлайн-курсов, принимающие во внимание перечисленные выше недостатки, соответствующие требованиям ведущих мировых MOOC-платформ (Massive Open Online Course), которые обеспечили значительную популярность онлайн-курсов и высокий процент просмотров на этих платформах. Алгоритм создания онлайн-курса представлен на рисунке 4. После сценарной работы создание онлайн-курса начинается со студийной записи речи и видео лектора, последующим аудио- и видеомонтажом. Процесс видеосъемки строится таким образом, чтобы рядом с изображением лектора в кадре оставалось дополнительное пространство для размещения поясняющей 2D-, 3D-графики, текста. При этом оригинальный фон, находящийся за лектором, как правило

удаляется с помощью технологии хромакей и заменяется на графическую подложку. Отдельное внимание уделяется интеграции материала курса — полученная презентация лектора в цифровом формате (PPtx, DocX, PDF и др.) полностью перерабатывается с помощью программных средств создания векторной, растровой и трехмерной графики.

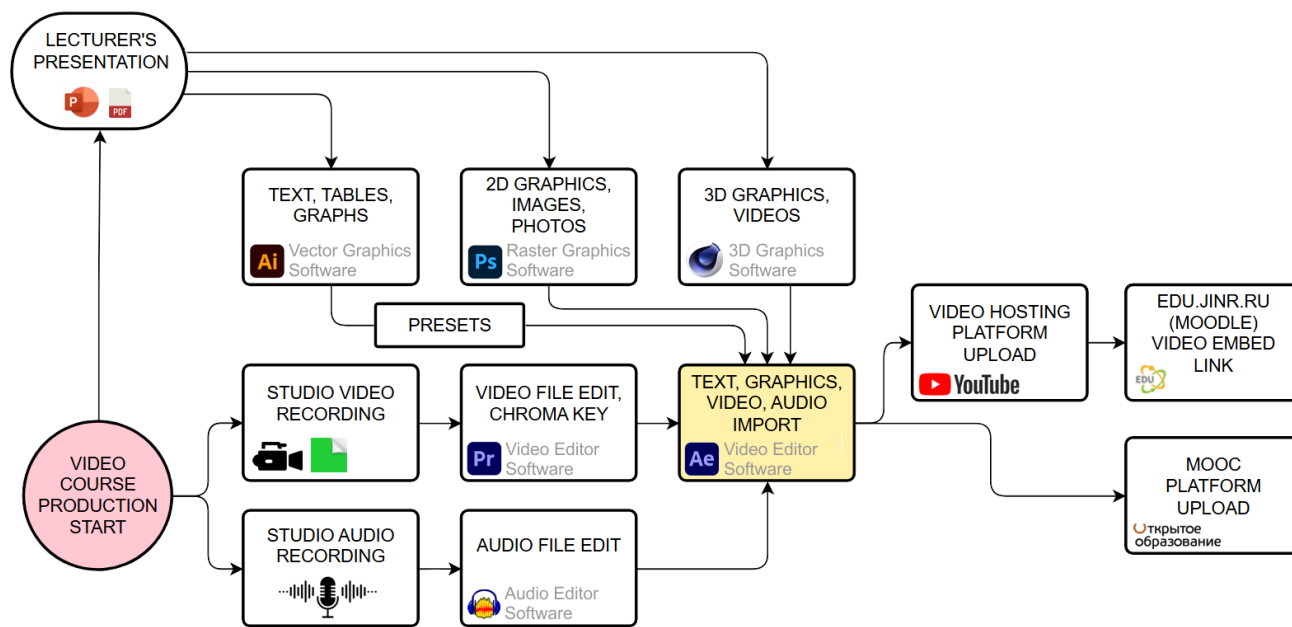


Рисунок 4 — Схема алгоритма создания онлайн-курса для MOOC-платформ и ООП ОИЯИ

Графическое сопровождение создается на основе “пресетов” — заготовленных шаблонов и требований к графическому оформлению (размеры и типы шрифтов; цветовая палитра; поля отступа; элементы дизайна: таблицы, графики, изображения; типовые заставки/анимации, титры и т.д.). Данные требования также включают в себя требования к разработке онлайн-курсов ведущих MOOC-платформ. Финальным этапом создания видео является объединение и синхронизация видео, аудио и поясняющей компьютерной графики. Полученные видеофайлы загружаются на MOOC-платформу или в LMS. При размещении онлайн-курсов в рамках LMS автором диссертационной работы был предложен метод публикации видеофайлов на популярных видеохостингах с последующем “встраиванием” видео в LMS. Данный способ имеет ряд значительных преимуществ: не загружается дисковое пространство сервера с

LMS; ускоряется загрузка видео пользователем в связи использованием видеохостингом географически распределенной сетевой инфраструктуры CDN (Content Delivery Network), позволяющей оптимизировать доставку и дистрибуцию содержимого конечным пользователям в сети Интернет; к тому же онлайн-курс имеет дополнительную независимую аудиторию заинтересованных пользователей на платформе видеохостинга. Анализ статистики просмотров канала на видеохостинге YouTube, показал, что только 22 % просмотров онлайн-курсов было зафиксировано в рамках ООП ОИЯИ, остальные просмотры были независимо осуществлены в рамках платформы видеохостинга.

В рамках диссертационной работы с применением данной методики было разработано более 70 онлайн-курсов и 4 специализаций для международных платформ edX, Coursera, платформы Национальной открытого образования и ООП ОИЯИ [15;16]. На рисунке 5 приведена статистика курса “Nuclear Reactor Physics Basics” на английском языке, размещенного на МООС-платформе Coursera, который за 2 года собрал более 20 000 слушателей из более 20 стран мира.



Рисунок 5 — График статистики курса “Nuclear Reactor Physics Basics”

Данный курс имел высокую оценку — 4.8 балла из 5 при более 20 тысяч слушателей. Это один самых высоких показателей на платформе Coursera.

Для объединения комплекса виртуальных лабораторных работ, онлайн-курсов, LMS, электронных образовательных ресурсов на одной платформе автором диссертации был создан ООП ОИЯИ [12]. Структура ООП ОИЯИ представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 — Структура ООП ОИЯИ

Разработанные онлайн-курсы позволяют сформировать сетевые образовательные программы для совместной подготовки специалистов по ядерной физике при участии университетов стран-участниц ОИЯИ.

В пятой главе описывается метод разработки программного инструментария для поддержки мультимедийных выставочных экспозиций ОИЯИ. В связи с развитием интерактивных и мультимедийных технологий крупные научные центры проявляют заинтересованность в создании стационарных и мобильных мультимедийных выставочных экспозиций, рассказывающих о научной деятельности организации и ее достижениях. Как правило такие экспозиции содержат технологические решения, связанные с использованием персональных компьютеров (ПК), интерактивных сенсорных экранов, проекционных технологий, виртуальной и дополненной реальностью и др. Проблемами организации таких экспозиций становятся: сложность администрирования большого количества ПК, задействованного в экспозиции, устойчивость операционных систем (ОС) при длительной работе, а также

компактность и мобильность ПК (в случае создания передвижных экспозиций).

На рисунке 7 представлен пример — схема существующей мультимедийной интерактивной экспозиции “Зал ОИЯИ” в Музее Дубна с большим числом ПК.

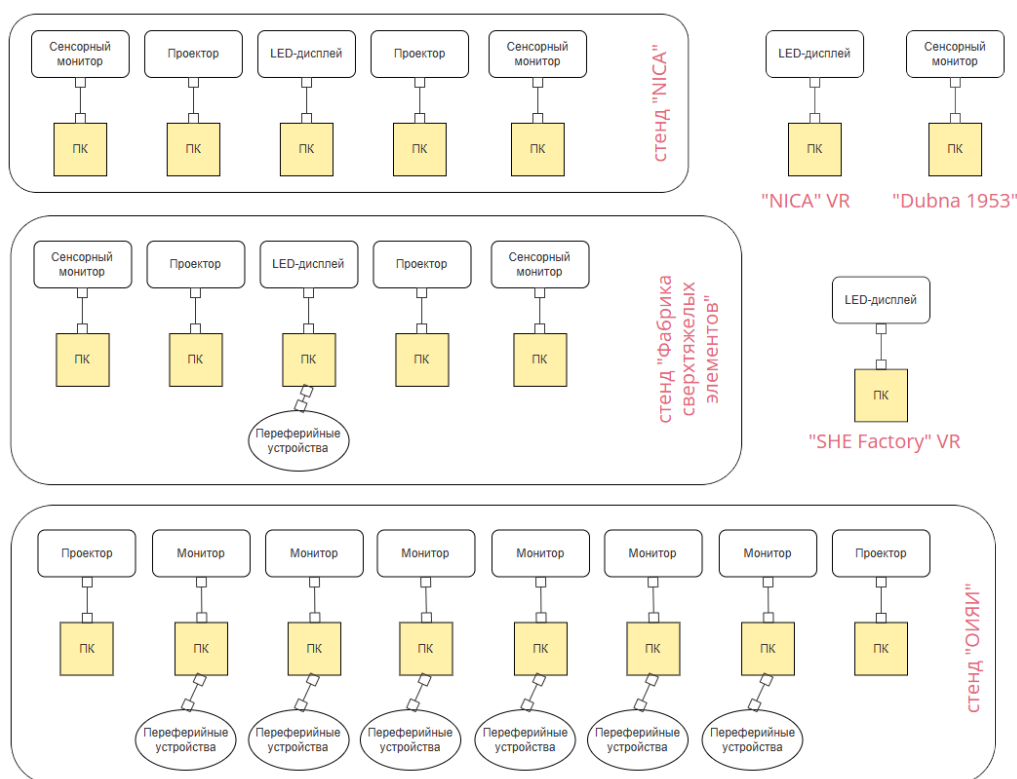


Рисунок 7 — Схема мультимедийной экспозиции “Зал ОИЯИ” в Музее Дубна

В результате диссертационного исследования был предложен метод использования микрокомпьютеров Raspberry Pi 4 с устойчивой ОС на базе универсальной ОС Debian — Raspbian. Для решения проблемы управления большим количеством ПК был создан программный инструментарий Media Node API на базе веб-приложения, позволяющий быстро обнаруживать все ПК в локальной сети мультимедийной экспозиции, управлять включением и выключением питания, загружать требуемое мультимедийное содержание: веб-страница, видео или изображение (рисунок 8). Важной особенностью использования одноплатных компьютеров Raspberry Pi, является доступность интерфейса ввода/вывода общего назначения (GPIO) — это интерфейс связи между компонентами компьютерной системы и различными периферийными устройствами.

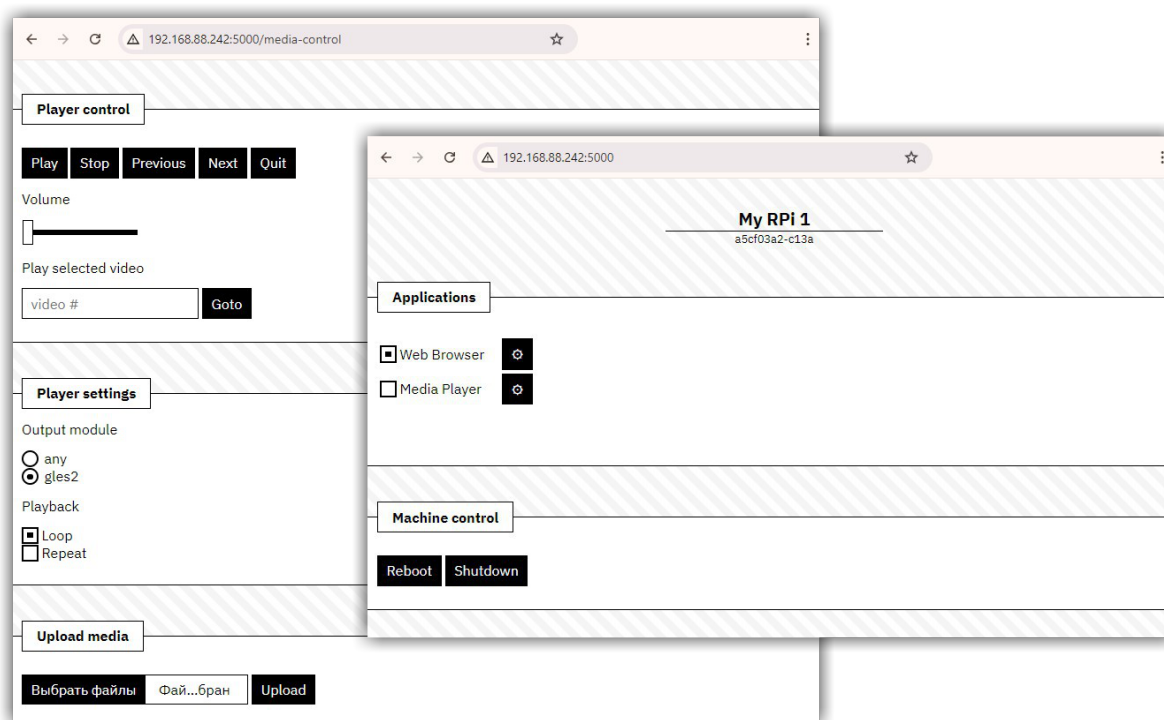


Рисунок 8 — Программный инструментарий администрирования ПК экспозиции

В экспозициях ОИЯИ помимо проигрывания статичных видеофайлов, используются интерактивные анимации, в которых с помощью воздействия на дополнительные физические (аппаратные) кнопки, подключенные к интерфейсу GPIO, пользователь имеет возможность изменять ход событий отображаемый на экране.

Данный метод позволил не только создать сложные выставочные экспонаты, но и достигнуть высокого уровня интерактивности выставочных экспозиций. С использованием данного метода были созданы стационарные выставки: “Базовые установки ОИЯИ” в Доме культуры “Мир” ОИЯИ, “Зал ОИЯИ” в Музее города Дубны, “NICA” в экспериментальном зале MPD в Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ, “iThemba LABS – JINR Corner” в ведущем научном центре Южной Африки — iThemba LABS. Также была создана мобильная выставочная экспозиция, которая демонстрировалась в Дальневосточном федеральном университете, Томском политехническом университете, Ханойском университете и др.

В **заключении** перечислены разработанные методы и программный инструментарий для создания ЭИОС для научных исследований в ОИЯИ, в том

числе:

- Спроектирована концепция и создана ЭИОС для поддержки научных исследований в ОИЯИ. Созданная ЭИОС позволяет пользователям всего мира принимать онлайн-участие в экспериментальных программах базовых установок ОИЯИ; использовать современные образовательные технологии для подготовки студентов университетов и повышения квалификации специалистов для экспериментальной работы; привлекать талантливую молодежь к участию в исследовательских проектах.
- Предложен новый метод проектирования АИС пользовательских программ базовых установок ОИЯИ. С использованием данного метода были созданы АИС для пользовательских программ реактора ИБР-2 и ускорительного комплекса NICA. АИС на ИБР-2 введена в эксплуатацию в 2020 году и активно используется исследователями для проведения экспериментов на установках реактора (<https://ibr-2.jinr.ru>). Разработанный метод был использован при разработке аналогичной АИС “ARIADNA” на комплексе NICA, ожидающей ввода в эксплуатацию в 2025-2026 году.
- Предложен новый метод создания виртуальных лабораторных работ по ядерной физике с включением реальных экспериментальных данных в виртуальную программную среду. С использованием данного метода был создан программный инструментарий — комплекс виртуальных практикумов, позволяющий проводить виртуальные эксперименты по ядерной физике любому пользователю в режиме онлайн. Это имеет особое значение при подготовке специалистов, желающих получить основные навыки работы с ядерно-физическим оборудованием в тех образовательных учреждениях, в которых могут отсутствовать экспериментальное оборудование и соответствующие условия для работы с радиоактивными источниками. Комплекс виртуальных практикумов доступен по адресу — <https://edu.jinr.ru/vlabs>.
- Разработана методика создания онлайн-курсов, использованная при создании более 70 онлайн-курсов и 4 специализаций для международных

платформ, Национальной платформы открытого образования и ООП ОИЯИ. Востребованность учебных материалов подтверждается высокой статистикой просмотров и вовлеченности пользователей со всего мира (более 100 стран), использованием материалов на базовых кафедрах ОИЯИ. Разработанные онлайн-курсы доступны на Национальной платформе — <https://openedu.ru> (в разделе “НЯИУ МИФИ”) и на ООП ОИЯИ — <https://edu.jinr.ru/courses>.

- Создан ООП ОИЯИ <https://edu.jinr.ru>, объединяющий все созданные по научной тематике ОИЯИ онлайн-курсы, образовательные ресурсы и комплекс виртуальных лабораторных работ на одной платформе.
- Разработан метод создания ПАК для поддержки выставочных мультимедийных экспозиций ОИЯИ, позволяющий создавать масштабные выставки с большим количеством компактных ПК и устойчивой работой ОС. Данный метод разработки ПАК применен на постоянно действующих и передвижных мультимедийных выставках ОИЯИ — <https://expo.jinr.ru>.

Список публикаций по теме диссертации

1. V.V. Belaga, M. Dimitrova, L.G. Efimov, K.V. Klygina, I.A. Lomachenkov, L.I. Maksimova, Yu.A. Panebrattsev, E.V. Potrebenikova, N.E. Sidorov, M.S. Stetsenko, I. Vankov, N.I. Vorontsova, M.Yu. Ushankova. Use of the modern multimedia technologies in education and popularization of the modern science. // Nuclear electronics & computing. – 2007. – P. 106-110.
2. D.A. Artemenkov, V.V. Belaga, I.A. Lomachenkov, Yu.A. Panebratsev, P.I. Semchukov, N.E. Sidorov, M.S. Stecenko, A.V. Shoshin, N.I. Vorontsova. Teaching methodological complex “Physics – Spheres” as the component of modern interdisciplinary information education environment. // Nuclear electronics & computing. – 2009. – P. 49-53.
3. S. Balalykin, V. Belaga, A. Dirner, E. Golubeva, K. Klygina, A. Komarova, Yu. Panebrattsev, A. Potapova, E. Potrebenikova, P. Semchukov, A. Shoshin, N. Sidorov, O. Smirnov, Yu. Stepanova, M. Stetsenko, S. Vokal, N. Vorontsova.

- Online science classroom. // HSCI2013. – 2013. – p. 353. – ISBN: [978-989-98032-2-0](#).
4. V. Belaga, D. Kamanin, K. Klygina, A. Komarova, N. Mkaza, Y. Panebrattsev, Y. Pyatkov, A. Shoshin, A. Strekalovsky, O. Strekalovsky, N. Sidorov. Virtual Laboratory of Nuclear Fission. // HSCI2014. – 2014. – p. 73. – ISBN: [978-989-98032-7-5](#).
 5. V. Belaga, P. Kochnev, N. Mkaza, Y. Panebrattsev, E. Potrebenikova, N. Sidorov, M. Stetsenko. Web-Based Builder of Digital Educational Resources. // HSCI2014. – 2014. – p. 65. – ISBN: [978-989-98032-7-5](#).
 6. H. Agakeshiev, V. Belaga, E. Golubeva, D. Kamanin, K. Klygina, P. Kochnev, Yu. Panebrattsev, L. Platonova, Yu. Pyatkov, P. Semchukov, N. Sidorov. Hardware-Software Complex “Virtual Laboratory of Nuclear Fission” for LIS Experiment. // HSCI2015. – 2015. – p. 14.
 7. V. Belaga, A. Kechechyan, K. Klygina A. Komarova, N. Mkaza, Y. Panebrattsev, D. Sadovsky, N. Sidorov. Educational Project for the STAR Experiment at RHIC. // Hands-on Science. Brightening our future. – 2015. – p. 244. – ISBN: [978-989-8798-01-5](#).
 8. V. Belaga, K. Klygina, A. Komarova, Yu. Panebrattsev, N. Sidorov. Multimedia Educational Resources For The JINR Activities And Achievements Popularization // Information innovative technologies. – 2017. – P. 78-82. – ISSN: [2542-1824](#).
 9. H. Agakishiev, V. Belaga, E. Dolgy, V. Gurev, D. Kamanin, K. Klygina, P. Kochnev, M. L. Lekala, V. D. Malaza, N.M. Mkaza, M. Osmachko, Y. Panebrattsev, Y. Pyatkov, G. Rainovsky, P. Semchukov, N. Sidorov, A. Strekalovsky, R. Tsenov, I. Vankov, N. Vorontsova, S. Wyngaardt. Interactive platform of nuclear experiment modeling” as a multidisciplinary tool in the training of specialists in the fields of ICT and experimental nuclear physics. // CEUR Workshop Proceedings. – 2017. – Vol. 2023. – p. 92.
 10. V. Belaga, K. Klygina, P. Kochnev, A. Komarova, Y. Panebrattsev, E. Potrebenikova, N. Sidorov, P. Semchukov, N. Vorontsova, A. Olchak,

- S. Muraviev. New Results from Colliders and Accelerators for School Teachers and School Students. // Hands-on Science Advancing Science. Improving Education. – 2018. – P. 99-101. – ISBN [978-84-8158-779-1](#).
11. V. Belaga, Y. Cordova, D. Kamanin, K. Klygina, P. Kochnev, Y. Panebrattsev, G. Rainovski, R. Shpitalnik, N. Sidorov, A. Strekalovsky, S. Pakuliak, P. Semchukov, E. Simon, I. Vankov, A. Wyngaardt, G. Yarygin. Nuclear physics for beginners: Hands-on practicum. // Hands-on Science Advancing Science. Improving Education. – 2018. – P. 102-104. – ISBN [978-84-8158-779-1](#).
 12. V. Belaga, E. Dolgy, K. Klygina, P. Kochnev, A. Komarova, M. Osmachko, D. Sadovskii, O. Smirnov, Yu. Panebrattsev, N. Sidorov, N. Vorontsova. "JINR educational portal ("edu.jinr.ru") — Open educational resources and modern visualization tools. // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2507. – P. 261-266.
 13. V. Belaga, M. Delov, E. Dolgy, K. Klygina, P. Kochnev, V. Kondakov, Yu. Panebrattsev, N. Sidorov, P. Struchalin, G. Tihomirov, N. Vorontsova. Elective course "Nuclear Physics" for high school students – synthesis of traditional textbook with the modern computer tools. // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2507. – P. 357-361.
 14. G. Averichev, V. Belaga, Yo. Cordova, T. Isatayev, D. Kamanin, K. Klygina, P. Kochnev, S. Lukianov, K. Mendibayev, Yu. Panebrattsev, G. Rainovski, R. Shpitalnik, N. Sidorov, A. Strekalovsky, S. Pakuliak, P. Semchukov, E. Simon, I. Vankov, N. Vorontsova, A. Wyngaardt, G. Yarygin. Virtual Laboratory — virtual educational tools and hands-on practicum. // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2507. – P. 464-468.
 15. V.V. Belaga, E.V. Dolgy, K.V. Klygina, P.O. Kochnev, Yu.A. Panebrattsev, N.E. Sidorov, E.B. Vesna. Online courses at international and national platforms and the possibility of creating a digital educational environment for megaprojects. // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. – 2019. – Vol. 1406. – No. 1. – P. 012004. – DOI: [10.1088/1742-6596/1406/1/012004](#).

16. Н.Е. Сидоров, Е.Б. Весна, К.В. Клыгина, Ю.А. Панебратцев, Г.В. Тихомиров. Средства электронного обучения для ядерной физики и инженерии. // Вестник национального исследовательского ядерного университета “МИФИ. – 2023. – т. 12. – №. 6. – Р. 339-351. – ISSN: [2304-487X](#).
17. N.E. Sidorov, D.M. Chudoba, Yu.E. Gorshkova, P.O. Kochnev, D.A. Sadovsky. User program for the neutron source reactor IBR-2 (FLNP JINR). // Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2024. – Vol. 21. – No 3, P. 553-559. – DOI: [10.1134/S1547477124700572](#).
18. I. Arsenić, M. Krmar, B. Radulović, P. Semchukov, G. Yarygin, N. Sidorov. An inexpensive way to introduce students to gamma spectroscopy. // European Journal of Physics. – IOP Publishing. – 2024. – Vol. 45. – No. 6. – P. 065801. – DOI: [10.1088/1361-6404/ad74b9](#).
19. Патент РФ № 2010145245/08, 09.11.2010.
Панебратцев Ю. А., Белага В. В., Сидоров Н. Е., Клыгина К. В., Стеценко М. С., Руфанова Т. И., Ушанкова М. Ю. Способ и система автоматизированного коллективного моделирования объекта // Патент России № 2450334. 2012. Бюл. № 13.
20. Ядерная физика : 10–11-е классы : учебное пособие / Н. И. Воронцова, М. И. Делов, К. В. Клыгина, В. В. Кондаков, Ю. А. Панебратцев, Н. Е. Сидоров, П. Г. Стручалин, Г. В. Тихомиров ; под ред. Ю. А. Панебратцева, Г. В. Тихомирова. – 5-е изд., стер. – Москва : Просвещение, 2025 – 159, [1] с. : ил. – (Профильная школа). – ISBN: [978-5-09-080125-6](#).