

DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-78-87

РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ 3D-ЛАБОРАТОРНЫХ ПРАКТИКУМОВ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Т. Н. Иванилова¹, А. В. Кушнеров¹, В. А. Семенов¹ ✉, И. А. Ильюшин¹, А. В. Серегин¹¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

✉ v1992@mail.ru

Аннотация

Применение виртуальных лабораторных работ в обучении позволяет воспроизводить онлайн лабораторные, требующих дорогостоящих материалов или инструментов, а также сделать учебный процесс интерактивным и дистанционным. Использование современных веб-технологий дает возможность обойти проблемы совместимости на компьютерах пользователей и выполнять лабораторные работы в режиме онлайн.

Целью настоящего исследования является разработка компьютерных виртуальных 3D-лабораторных работ и тренажеров веб-доступа для дисциплин, преподаваемых в Сибирском государственном университете науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева (СибГУ).

Проведенный авторами анализ современного состояния в области разработки виртуальных лабораторных позволил сделать вывод о невозможности использования готовых решений. Произведен выбор инструментов для разработки собственных программных продуктов, отобраны дисциплины для реализации 3D-лабораторных, проведена разработка технического задания и методов взаимодействия пользователя с объектами и объектов друг с другом, созданы 3D-модели, необходимые для визуализации лабораторных работ.

Итогом исследований являются программные продукты — виртуальные 3D-лабораторные практикумы для студентов технических специальностей, реализованные аналогичным набором программных решений и размещенные на сервере СибГУ. Тестирование программных продуктов было проведено студентами на реальных занятиях, а затем созданные приложения были внедрены в электронные учебные модули университета.

Разработанные компьютерные реализации лабораторных не только успешно применяются в учебном процессе СибГУ, но и позволяют разрешить проблему ведения лабораторных занятий в режиме вынужденного дистанта, при заочной форме обучения, а также помогают возместить отсутствие необходимого оборудования.

Применение виртуальных лабораторных работ помогает заинтересовать студента в обучении и повышать его цифровую грамотность.

Ключевые слова: информатизация образования, виртуальная лабораторная работа, 3D-тренажер, Unity, электронное и дистанционное обучение, веб-приложение.

Для цитирования:

Иванилова Т. Н., Кушнеров А. В., Семенов В. А., Ильюшин И. А., Серегин А. В. Реализация веб-приложений 3D-лабораторных практикумов для технических специальностей. 2023;38(3):78–87. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-78-87

IMPLEMENTATION OF 3D LABORATORY WORKSHOPS WEB APPLICATIONS FOR TECHNICAL SPECIALTIES

T. N. Ivanilova¹, A. V. Kushnerov¹, V. A. Semenov¹ ✉, I. A. Ilyushin¹, A. V. Seregin¹¹ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

✉ v1992@mail.ru

Abstract

The use of virtual laboratory classes in teaching allows the reproduction of online laboratory workshop that require expensive materials or tools, as well as making the learning process interactive and remote. The use of modern web technologies makes it possible to bypass compatibility problems on users' computers and perform laboratory classes remotely online.

The purpose of this research is to develop computer virtual 3D-laboratory class and web-access simulators for disciplines taught at the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (SibGU).

The analysis of the current state in the field of virtual laboratory development carried out by the authors allowed us to conclude that it is impossible to use ready-made solutions. The choice of tools for the development of their own software products was made, the disciplines for the implementation of 3D-laboratory classes were selected, technical specifications were developed, methods of user interaction with objects and objects interaction with each other were developed, 3D-models needed for the visualization of laboratory work were created.

The final result of the research is software products — virtual 3D-laboratory workshops for students of technical specialties, implemented with a similar set of software solutions, hosted on the SibGU server. The software products were tested by students in real classes and then the created applications were implemented in the electronic training modules of the university.

The developed computer implementations of laboratory workshops are not only successfully used in the educational process of SibGU, but also allow to solve the problem of conducting laboratory classes in the forced distance form of education, as well as help to compensate for the lack of necessary equipment.

Application of virtual laboratory classes helps to engage students in learning and improve their digital literacy.

Keywords: informatization of education, virtual laboratory class, 3D-simulator, Unity, electronic and distance learning, web application.

For citation:

Ivanilova T. N., Kushnerov A. V., Semenov V. A., Ilyushin I. A., Seregin A. V. Implementation of 3D-laboratory workshops web applications for technical specialties. *Informatics and Education*. 2023;38(3):78–87. (In Russian.) DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-78-87

1. Введение

Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» формулирует задачу подготовки граждан к условиям цифровой экономики и подготовки специалистов для цифровой экономики: «С учетом требований к компетенциям цифровой экономики обновлены образовательные программы всех уровней образования в целях использования в учебной деятельности, в том числе при государственной итоговой аттестации, общепользовательских и профессиональных цифровых инструментов»^{*}. Согласно этой программе, образовательные организации должны использовать дистанционные образовательные технологии и электронное обучение во всех видах и формах деятельности обучающихся.

Активное использование современных информационных технологий стало одной из актуальных областей цифровой трансформации в учебном заведении. Применение электронного и дистанционного обучения было неотъемлемой и востребованной частью образовательного процесса в период пандемии и ускорило темпы цифровизации образования.

Современное электронное обучение помогает наглядно представить обучающимся текстовый и мультимедийный материал, но не позволяет им в полной мере выполнять задания, реализуемые в лабораторных условиях и требующие дорогих или труднодоступных инструментов и материалов. Поэтому актуальной исследовательской задачей является реализация возможности проведения лабораторных работ посредством современных компьютерных технологий [1–5].

Для решения данной проблемы можно использовать интерактивные 3D-тренажеры и виртуальные практикумы, которые позволяют максимально приблизить взаимодействие обучающегося с цифровыми объектами к реальности, как если бы он находился в лаборатории или перед станком в цехе [6].

Согласно классификации А. В. Трухина [7], различаются два вида виртуальных лабораторий:

- программно-аппаратный комплекс, позволяющий проводить опыты без непосредственного контакта с реальной установкой. Эта лабораторная установка предполагает удаленный доступ, но в ее состав входит реальная лаборатория, программно-аппаратное обеспечение для управления установкой и оцифровки полученных данных, а также средства коммуникации;
- программно-аппаратный комплекс, в котором весь процесс моделируется программой.

В нашей статье будут представлены проекты, относящиеся к виртуальным лабораториям второго вида.

Отметим преимущества виртуальных лабораторий по сравнению с реальными [8, 9]:

- возможность использования в дистанционном обучении;
- отсутствие необходимости приобретения дорогостоящего оборудования и реактивов;
- моделирование процессов, протекание которых принципиально невозможно в лабораторных условиях;
- наглядная визуализация на экране компьютера;
- безопасность;
- возможность быстрого проведения серии опытов с различными значениями входных параметров, что часто необходимо для определения зависимостей выходных параметров от входных.

На данный момент 3D-тренажеры в образовательной среде используются редко. Их распространению мешает большая длительность разработки и высокая стоимость программного обеспечения. В мире существуют компании, занимающиеся разработкой и продажей готовых 3D-тренажеров. Но уже созданные программы не всегда подходят для образовательного процесса конкретного вуза.

Большинство существующих 3D-тренажеров необходимо установить на компьютеры специально оборудованного компьютерного класса либо скачать и установить на компьютер пользователя, что приводит к проблемам совместимости с различными устройствами и операционными системами. Решением данных проблем является использование веб-технологий, которые позволяют обеспечить

^{*} Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года № 1632-р «Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации»». <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>

круглосуточный доступ и требуют от пользователя лишь наличия современного браузера.

В связи с перечисленным комплексом причин в Сибирском государственном университете науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева (СибГУ) было решено реализовать проект по созданию виртуальных лабораторных работ с веб-доступом. Для поиска преподавателей, готовых участвовать в разработке, был проведен конкурс авторских сценариев виртуальных лабораторных и симуляторов. Среди предложенных вариантов были выбраны самые интересные, по которым были разработаны виртуальные 3D-тренажеры. Готовые решения функционируют на платформе WebGL. Они размещаются на сервере и внедряются в дистанционно-образовательную среду.

2. Анализ аналогов

Виртуальные лабораторные работы (практикумы) — это программное обеспечение (ПО), которое предполагает выполнение эксперимента и получение данных по результатам его проведения без непосредственного использования реальных лабораторных установок и приборов. Такое ПО разрабатывается под VR- или AR-технологии, веб-приложения, приложения для персонального компьютера или мобильных устройств.

Приложение может быть выполнено как в 3D-, так и в 2D-проекции, может быть интерактивным (тогда, например, пользователь получает возможность перемещаться по аудитории или подключать провода к электросхеме) или автономным (например, простая симуляция, в которой необходимо заполнить некоторые параметры, а программа сама произведет расчеты [10–12]).

Назовем лишь некоторых разработчиков соответствующих готовых продуктов:

- Professional Group (ООО НПФ «ИНФОТЕХ», г. Тюмень) выпускает множество разнообразных виртуальных лабораторных работ, имитационных тренажеров, автоматизированных

обучающих систем и систем управления обучением;

- Program Lab (ООО «Програмлаб», г. Москва) предлагает большой набор виртуальных лабораторных работ и тренажеров для среднего профессионального и высшего образования;
- VR Chemistry Lab (ООО «СТЕМ-ИГРЫ», г. Москва) позволяет выполнять эксперименты в виртуальной химической лаборатории;
- LabXchange (Гарвардский университет и Amgen Foundation, США) — это площадка с виртуальными лабораториями, видео, тестами, электронными учебниками и другими научными и обучающими материалами, как собственных авторов, так и партнеров.

Сравним платформы, на которых представлены продукты названных разработчиков, их языковую локализацию и стоимость (табл.).

Анализ собранной информации показал высокую стоимость разработок, отсутствие поддержки русского языка в некоторых программных средствах, несоответствие учебных материалов рабочим программам университета. Поэтому было принято решение реализовать собственный проект по разработке виртуальных 3D-лабораторных практикумов (тренажеров) для студентов университета.

3. Проектирование и архитектура виртуальных практикумов

На этапе проектирования ПО, реализующего виртуальные 3D-лабораторные практикумы, мы опирались на требования к интерактивным компьютерным практикумам [13, 14] и опыт разработок компьютерных обучающих программ в СибГУ [15, 16].

Виртуальные лабораторные практикумы, разрабатываемые в рамках проекта, создавались для различных образовательных направлений: биохимия, механика, авиационные и космические технологии, — но основывались на единой архитектуре. Поскольку архитектура ПО раскрывает структуру

Таблица / Table

Сравнение поставщиков готовых виртуальных лабораторных работ

Comparison of ready-made virtual laboratory work suppliers

№ п/п	Поставщик	Платформы	Язык	Стоимость (на 05.05.2023 года)
1	Professional Group	PC, VR	Русский	От 1 900 руб. за виртуальную лабораторную работу
2	Program Lab	PC, VR, Web	Русский	От 11 000 руб. за виртуальную лабораторную работу
3	VR Chemistry Lab	Web, VR	Русский, английский	VR – от 12 000 руб. за лицензию, Web – от 300 руб. за лицензию
4	LabXchange	Web	Английский	Бесплатно

описываемой системы и обеспечивает гармоничное взаимодействие элементов системы друг с другом, то первоначальным этапом наших исследований был выбор необходимой и удобной архитектуры, чтобы в последующей программной разработке не возникало проблем использования ПО в разных образовательных направлениях [17].

Авторами было установлено, что архитектура программного обеспечения должна содержать следующие обязательные компоненты:

- авторизация обучающегося;
- выбор режима выполнения лабораторной;
- выбор задания;
- выполнение лабораторной;
- формирование протокола выполнения;
- организация доступа преподавателя к протоколу студента;
- проверка протокола преподавателем;

- ознакомление студента с результатами проверки.

На этапе проектирования совместно с преподавателями СибГУ были созданы технические задания на разработку виртуальных лабораторных. В соответствии с современными тенденциями цифровизации, возможностями ИТ-технологий, а также с опорой на результаты сравнительного анализа имеющихся готовых продуктов было решено разрабатывать веб-приложения.

Представим ИТ-архитектуру виртуальных веб-лабораторий на уровне клиента приложения (рис. 1 и 2): данный уровень (компонента) приложения является верхним слоем архитектуры программного средства и представляет собой интерфейс пользователя (клиента приложения).

Опишем кратко интерфейс компьютерной 3D-лаборатории с веб-доступом.

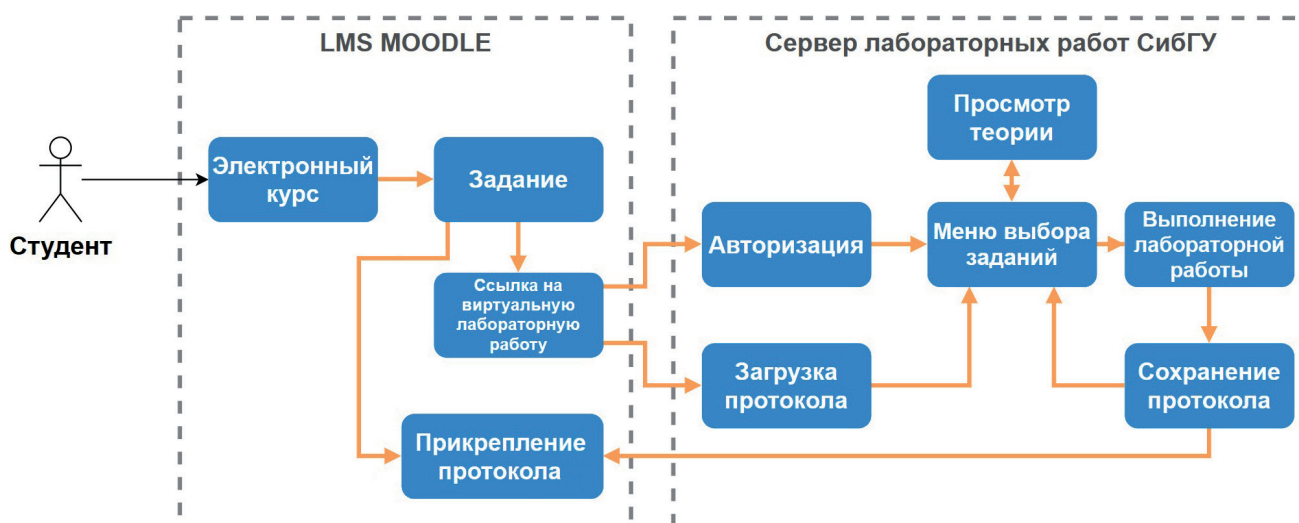


Рис. 1. Организация интерфейса пользователя «Студент»

Fig. 1. Organization of the user interface "Student"

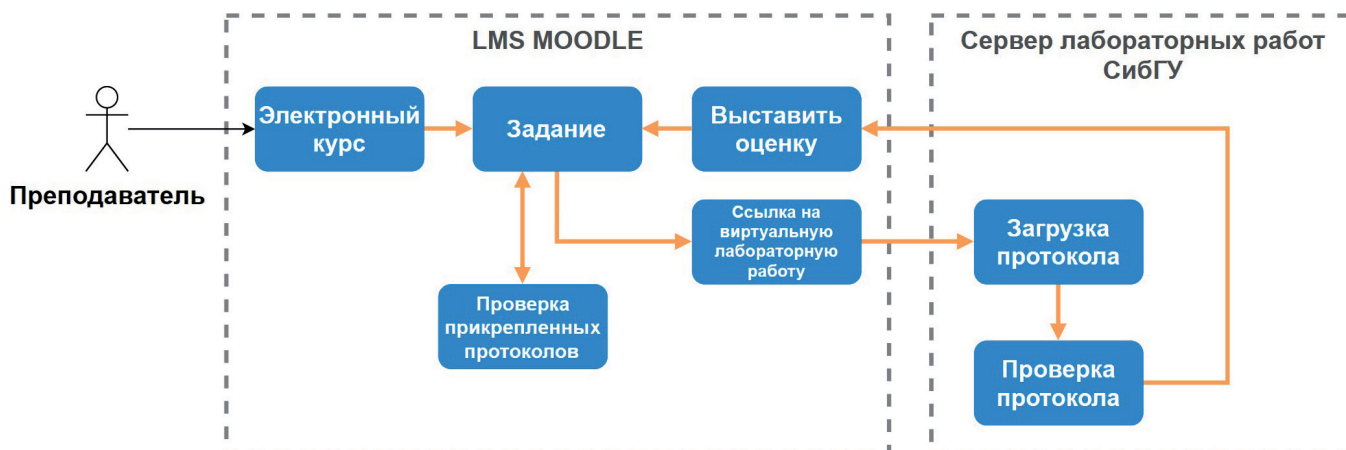


Рис. 2. Организация интерфейса пользователя «Преподаватель»

Fig. 2. Organization of the user interface "Teacher"

1. В электронном курсе студент переходит по ссылке на сервер с размещенной на нем программой.

2. Студенту открывается окно входа с возможностью регистрации. Обучающийся вводит фамилию, имя, отчество, группу.

3. Далее пользователь пересылается к меню выбора режима работы: проверка входных знаний, выполнение заданий, защита лабораторной, свободное проектирование.

4. После выбора задания студент переходит в основное окно для его выполнения. Во время выполнения работы обучающийся имеет возможность видеть содержание лабораторной и теоретический материал.

5. В процессе выполнения задания формируется зашифрованный протокол выполнения, который для проверки отсылается преподавателю по электронной почте либо прикрепляется как ответ на задание в электронном курсе.

6. Если студент не завершил выполнение задания, он может сохранить протокол, а затем загрузить его и продолжить выполнение, когда ему будет удобно. Предусмотрена также возможность загрузки уже готового протокола, сформированного вне учебного занятия, для проверки преподавателем. Протоколы открываются и проверяются в этой же программе.

4. Реализация программного обеспечения виртуальных 3D-практикумов

Современное поколение обучающихся называют поколением Z [18], которое привыкло получать информацию в виде клипов, гифок, иконок и т. п. визуальных объектов. Известно также, что скорость восприятия графической информации выше, чем скорость чтения и осмысления символьных данных. Поэтому применение интерактивной графики повышает качество познавательной деятельности.

Для виртуальных 3D-тренажеров было решено использовать среду разработки двух- и трехмерных приложений Unity, которая позволяет создавать приложения на более чем 25 различных платформах, в том числе на персональных компьютерах, игровых консолях, мобильных устройствах, в веб-приложениях и т. п. Основным достоинством Unity является наличие визуальной среды разработки и модульной системы компонентов. Было принято решение писать веб-приложения для современных браузеров с помощью технологии WebGL, позволяющей запускать приложения с 3D-графикой в окне браузера, чтобы каждый студент мог воспользоваться виртуальными лабораторными работами вне зависимости от конфигурации домашнего компьютера.

Основным встроенным языком в Unity является C#, поэтому он был взят для написания алгоритмов. Для работы с языком программирования были выбраны инструменты Visual Studio и VS Code.

Для создания моделей объектов виртуальных лабораторных работ использовались инструменты 3D-моделирования. Для этой цели отлично по-

дошли такие программные продукты, как Blender и Autodesk 3ds Max.

Разработанное программное обеспечение, реализованное в виде приложения, функционирует в различных современных браузерах. Приложения размещены на сервере, их запуск осуществляется в плеере браузера или по ссылке в электронном курсе. Разработанное ПО не имеет технических ограничений по количеству одновременно работающих пользователей. Параметры такой работы должны зависеть только от технических характеристик используемых аппаратных средств и сетевого оборудования.

5. Описание виртуальных 3D-лабораторных работ с веб-доступом

5.1. Лабораторная работа «Органические вещества клетки: белки и углеводы»

Данная работа позволяет полностью имитировать процедуру выполнения опытов в реальной химической лаборатории.

Для выполнения опытов в виртуальной лаборатории были организованы две рабочих зоны: основной рабочий стол для переливания из колбы в пробирку, нагревания и охлаждения (1) и вытяжной шкаф для работы с пипеткой (2) (рис. 3).

В любой момент пользователь может сохранить результаты лабораторной работы и продолжить ее выполнение в другое время, загрузив сохраненный протокол. В соответствующем файле зашифрована информация о прохождении лабораторной работы. Данный файл может также использоваться в качестве отчета о выполнении лабораторной работы для преподавателя.

5.2. Лабораторная работа «Проектирование компоновки и расположения центра массы спутника класса CubeSat»

Данная разработка предназначена для изучения компоновки сверхмалых космических спутников формата CubeSat и позволяет имитировать процесс сборки спутника из отдельных компонентов.

Виртуальная лабораторная работа состоит из двух основных сцен:

1. *Стартовая сцена* содержит поля для авторизации, меню выбора режимов проектирования, меню выбора варианта задания, меню выбора типоразмера спутника.

В режиме свободного проектирования пользователь может выбрать типоразмер корпуса спутника из предложенных вариантов.

2. На *сцене редактора спутника* расположен каркас спутника выбранного типоразмера (к нему можно присоединять компоненты и отсоединять их). Вид можно вращать и масштабировать. Компоненты выбираются из нижней панели. Они разделены на категории. На сцене доступна информация о присоединенных деталях и расположении центра масс (рис. 4).



Рис. 3. Основной рабочий стол для проведения опытов

Fig. 3. Main desktop for experiments

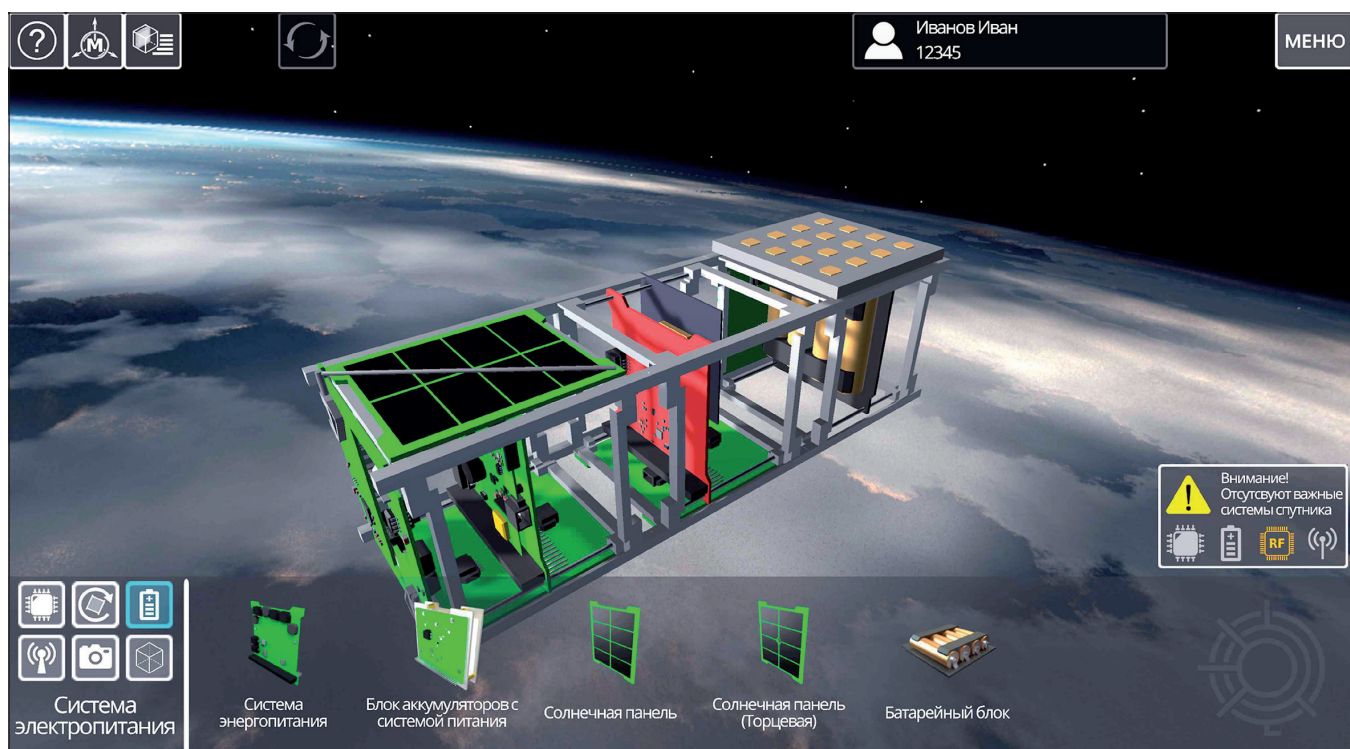


Рис. 4. Сцена конструирования спутника

Fig. 4. Satellite construction scene



Рис. 5. Рабочая зона с штангенциркулями, микрометрами и концевыми мерами

Fig. 5. Working area with calipers, micrometers and end measures

Если возникает необходимость в использовании детали, модель которой не указана в виртуальной лабораторной, предусмотрена возможность создать массогабаритный макет.

5.3. Лабораторная работа «Каустификация содового раствора»

Данная работа предназначена для изучения влияния технологических параметров на скорость процесса каустификации содового раствора и выход целевого продукта (едкого натра), проведения лабораторного контроля на всех этапах этого процесса, оценки технико-экономических показателей.

Внутри виртуальной лаборатории реализовано все необходимое оборудование для проведения опытов и предусмотрены следующие процессы:

- переливание растворов;
- измерение объема растворов;
- измерение массы осадка;
- нагревание содового раствора;
- фильтрация содового раствора.

5.4. Лабораторная работа «Измерение деталей штангенинструментом и микрометрическими инструментами»

Программа предназначена для изучения конструкции штангенинструментов и микрометрических инструментов с последующим проведением измерений и аттестации предложенных инструментов.

Программа также позволяет изучить основные виды погрешностей при измерении деталей.

В практикуме организовано рабочее место для манипуляций с концевыми мерами и проведения аттестации штангенинструментов и микрометрических инструментов (рис. 5).

6. Заключение

Результаты решений, представленных в статье, охватывают все необходимые этапы создания программного продукта:

- проектирование;
- разработка;
- тестирование на реальных данных (студентами вуза);
- внедрение в учебный процесс.

Разработанные виртуальные лабораторные работы встроены в следующие дистанционные курсы:

- «Физиология растений» (лабораторная работа «Органические вещества клетки: белки и углеводы»);
- «Fundamentals of CubeSat Design: Module 2» (лабораторная работа «Проектирование компоновки и расположения центра массы спутника класса CubeSat»);
- «Общая химическая технология» (лабораторная работа «Каустификация содового раствора»);

- «Метрология» (лабораторная работа «Измерение деталей штангенциркулем и микрометрическими инструментами»).

Все виртуальные лабораторные работы размещены на серверах электронного обучения СибГУ и используются на лабораторных занятиях разных направлений подготовки:

- 35.03.00 «Сельское, лесное и рыбное хозяйство»;
- 18.03.00 «Химические технологии»;
- 27.03.00 «Управление в технических системах»;
- 15.03.00 «Машиностроение»;
- 23.03.00 «Техника и технологии наземного транспорта»;
- 44.03.00 «Образование и педагогические науки»;
- 05.03.00 «Науки о земле»;
- 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»;
- 20.03.01 «Техносферная безопасность»;
- 13.03.00 «Электро- и теплоэнергетика» и др.

Программное обеспечение всех лабораторных работ регистрируется в Федеральной службе по интеллектуальной собственности.

Отметим, что на выполнение лабораторных работ на обычных физических установках обучающиеся тратят в среднем от полутора до трех часов, а при использовании разработанных веб-приложений время на их выполнение сокращается в несколько раз. Например, при проведении лабораторной работы «Каустификация содового раствора» в аудитории тратится около трех часов, а в виртуальной лаборатории СибГУ студенту понадобится от 30 до 40 минут, поскольку в ней реализовано ускорение химических процессов.

Таким образом, виртуальные лабораторные практикумы с веб-доступом являются хорошей заменой реальным лабораторным установкам. Кроме того, они позволяют углубить цифровую грамотность педагога. Разработанные 3D-лабораторные дают студенту возможность выполнить задания на стороне сервера, не привлекая ресурсы собственного компьютера, а преподавателям облегчают процесс оценивания результатов [19]. Это делает процесс обучения современным, расширяет познавательную активность пользователей и позволяет приобрести новые цифровые компетенции [20].

Список источников / References

1. Девяткин Е. М., Хасанова С. Л., Чиганова Н. В. Комплекс электронных лабораторных установок по общей физике. *Современные проблемы науки и образования*. 2016;(4):161. EDN: WIQDHN
- [Devyatkin E. M., Khasanova S. L., Chiganova N. V. Virtual interactive laboratory setting on physics. *Modern Problems of Science and Education*. 2016;(4):161. (In Russian.) EDN: WIQDHN]
2. Гавронская Ю. Ю., Оксенчук В. В. Методика создания виртуальных лабораторных работ по химии. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(2(2)):360. EDN: UZJDDJ

[Gavronskaya Yu.Yu., Oksenchuk V.V. The technique of creation of virtual laboratory works in chemistry. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(2(2)):360. (In Russian.) EDN: UZJDDJ]

3. Ушакова Н. Ю., Быковская Л. В. Облачные web-приложения для организации лабораторных работ по электротехническим дисциплинам. *Современные проблемы науки и образования*. 2021;(3):84. EDN: UDUGMH. DOI: 10.17513/spno.30927

[Ushakova N. Yu., Bykovskaya L. V. On the practice of using specialized cloud web applications in electrical engineering disciplines. *Modern Problems of Science and Education*. 2021;(3):84. (In Russian.) EDN: UDUGMH. DOI: 10.17513/spno.30927]

4. Шапошникова Т. Л., Рыкова Е. В. Виртуальный лабораторный практикум в структуре информационных образовательных технологий. *Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта*. 2014;(12(118)):218–222. EDN: TFDRIH. DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2014.12.118.p218-222

[Shaposhnikova T. L., Rykova E. V. Virtual laboratory practice in the structure of the computer-aided educational technologies. *Uchenye Zapiski Universiteta Imeni P. F. Lesgafta*. 2014;(12(118)):218–222. (In Russian.) EDN: TFDRIH. DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2014.12.118.p218-222]

5. Губский Е. Г. Виртуальные лабораторные работы по физике в системе дистанционного обучения. *Современные проблемы науки и образования*. 2009;(1):56–57. EDN: KWNHYT

[Gubsky E. G. Virtual laboratory work in physics in the system of distance learning. *Modern Problems of Science and Education*. 2009;(1):56–57. (In Russian.) EDN: KWNHYT]

6. Aljuhani K., Sonbul M., Althabiti M., Meccawy M. Creating a Virtual Science Lab (VSL): The adoption of virtual labs in Saudi schools. *Smart Learning Environments*. 2018;(5):16. DOI: 10.1186/s40561-018-0067-9

7. Трухин А. В. Об использовании виртуальных лабораторий в образовании. *Открытое и дистанционное образование*. 2002;(4(8)):81–82. EDN: MLTRIИ

[Trukhin A. V. On the use of virtual laboratories in education. *Open and Distance Education*. 2002;(4(8)):81–82. (In Russian.) EDN: MLTRIИ]

8. Белов В. В., Образцов И. В., Иванов В. К., Коноплев Е. Н. Компьютерная реализация решения научно-технических и образовательных задач: учебное пособие. Тверь: ТвГТУ; 2015. 102 с. EDN: VMAASD

[Belov V. V., Obratsov I. V., Ivanov V. K., Konoplev E. N. Computer implementation of solving scientific, technical and educational problems: textbook. Tver, TvSTU; 2015. 102 p. (In Russian.) EDN: VMAASD]

9. Аношина О. В., Шумихина К. А. Преимущества использования виртуального физического практикума в условиях пандемии. *Современные проблемы науки и образования*. 2021;(3):101. EDN: ZNXLYV. DOI: 10.17513/spno.30955

[Anoshina O. V., Shumikhina K. A. Advantages of using a virtual physical labs in a pandemic. *Modern Problem of Science and Education*. 2021;(3):101. (In Russian.) EDN: ZNXLYV. DOI: 10.17513/spno.30955]

10. Лаптенков Б. К., Тихомиров Ю. В. Опыт организации и проведения виртуального лабораторного практикума по курсу физики. *Физическое образование в вузах*. 2005;11(2):90–101. EDN: HTLVZB

[Laptenkov B. K., Tikhomirov Yu. V. The experience of organization of virtual laboratory practical works on physics. *Physics in Higher Education*. 2005;11(2):90–101. (In Russian.) EDN: HTLVZB]

11. Гринберг Г. М., Романов Д. В. Интерактивная компьютерная модель шагового двигателя. *Решетневские чтения. Материалы XIV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генераль-*

ного конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева. 2010;2:485–486. EDN: UNKKSN

[Grinberg G. M., Romanov D. V. Interactive computer model of the step engine. *Reshetnev readings. Proc. XIV Int. Scientific and Practical Conf., Dedicated to the Memory of the General Designer of Rocket and Space Systems Academician M. F. Reshetnev*. 2010;2:485–486. (In Russian.) EDN: UNKKSN]

12. Ушакова Н. Ю., Быковская Л. В. Облачные web-приложения для организации лабораторных работ по электротехническим дисциплинам. *Современные проблемы науки и образования*. 2021;(3):1–8. EDN: UDUGMH. DOI: 10.17513/spno.30927

[Ushakova N. Y., Bykovskaya L. V. On the practice of using specialized cloud web applications in electrical engineering disciplines. *Modern Problem of Science and Education*. 2021;(3):1–8. (In Russian.) EDN: UDUGMH. DOI: 10.17513/spno.30927]

13. Гринберг Г. М., Романов Д. В. Организация лабораторного практикума с применением информационно-коммуникационных технологий. *Решетневские чтения. Материалы XVIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева*. 2014;3:290–295. EDN: PBJQBN

[Grinberg G. M., Romanov D. V. Organization of the laboratory workshop using IT and communication technologies. *Reshetnev readings. Proc. XVIII Int. Scientific and Practical Conf., Dedicated to the Memory of the General Designer of Rocket and Space Systems Academician M. F. Reshetnev*. 2014;3:290–295. (In Russian.) EDN: PBJQBN]

14. Соловов А. В., Мишук В. Т. Интеллектуальные тренажеры и виртуальные лаборатории: учебное пособие. Самара: СГАУ; 2007. 59 с. EDN: QMFOYN

[Solovov A. V., Mishchuk V. T. Intellectual simulators and virtual laboratories: textbook. Samara, SSAU; 2007. 59 p. (In Russian.) EDN: QMFOYN]

15. Сацук М. М., Артышко А. А., Миронов Д. Е., Кудрявцева О. А., Иванилова Т. Н. Разработка обучающего программного обеспечения для лабораторных работ по дисциплине «Физика». *Решетневские чтения. Материалы XXIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева*. 2019;2:383–385. EDN: LUZUQJ

[Satsuk M. M., Artysheko A. A., Mironov D. E., Kudryavtseva O. A., Ivanilova T. N. Development of training software for laboratory work on the discipline “Physics”. *Reshetnev readings. Proc. XXIII Int. Scientific and Practical Conf., Dedicated to the Memory of the General Designer of Rocket and Space Systems Academician M. F. Reshetnev*. 2019;2:383–385. (In Russian.) EDN: LUZUQJ]

16. Блинов С. Н., Иванилова Т. Н., Кудрявцева О. А. Обучающая компьютерная программа «Виртуальные лабораторные работы по курсу “Физика” для студентов технических специальностей». *Открытое и дистанционное образование*. 2019;(1(73)):46–52. EDN: ZCDAQP. DOI: 10.17223/16095944/73/6

[Blinov S. N., Ivanilova T. N., Kudryavtseva O. A. Educational software “Virtual laboratory works on the course of ‘Physics’ for engineering students”. *Open and Distance Education*. 2019;(1(73)):46–52. (In Russian.) EDN: ZCDAQP. DOI: 10.17223/16095944/73/6]

17. Говоров А. И., Говорова М. М., Шиков А. Н. Функциональные особенности разработки виртуального лабораторного практикума по компьютерным сетям. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования*. 2015;(4):42–53. EDN: VBJNMD

[Govorov A. I., Govorova M. M., Shikov A. N. Functional features of development of a virtual laboratory workshop on

computer networks. *RUDN Journal of Informatization in Education*. 2015;(4):42–53. (In Russian.) EDN: VBJNMD]

18. Коатс Дж. Поколения и стили обучения: монография. М.: МАПДО; 2011. 121 с. EDN: QYMQVZ

[Coates J. Generations and learning styles: a monograph. Moscow, MAPDO; 2011. 121 p (In Russian.) EDN: QYMQVZ]

19. Waldrop M. M. Education online: The virtual lab. *Nature*. 2013;499:268–270. DOI: 10.1038/499268a

20. Вязанкова В. В., Романова М. Л. Информатизация образования как фактор формирования информационной компетентности студентов. *Открытое и дистанционное образование*. 2014;(1(53)):54–59. EDN: SAHMZH

[Vyazankova V. V., Romanova M. L. In formatization of education as the factor of students’ information competence formation. *Open and Distance Education*. 2014;(1(53)):54–59. (In Russian.) EDN: SAHMZH]

Информация об авторах

Иванилова Татьяна Николаевна, канд. тех. наук, доцент, начальник управления информационно-коммуникационных образовательных технологий, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-1202-6609>; *e-mail*: ivanilova.tn@gmail.com

Кушнеров Алексей Владимирович, зав. сектором разработки мультимедийного учебного контента, отдел разработки электронно-образовательных ресурсов, управление информационно-коммуникационных образовательных технологий, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-5384-6099>; *e-mail*: kushnerov_av@sibsau.ru

Семенов Виктор Александрович, начальник отдела разработки электронно-образовательных ресурсов, управление информационно-коммуникационных образовательных технологий, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-1343-5014>; *e-mail*: v1992@mail.ru

Ильющин Илья Андреевич, студент 4-го курса кафедры информационно-управляющих систем, Институт информатики и телекоммуникаций, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-6698-102X>; *e-mail*: kqngwap@gmail.com

Серегин Александр Валерьевич, студент 4-го курса кафедры информационно-управляющих систем, Институт информатики и телекоммуникаций, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-7047-2466>; *e-mail*: sear_ring@mail.ru

Information about the authors

Tatiana N. Ivanilova, Candidate of Sciences (Engineering), Docent, Head of the Department of Information and Communication Technologies in Education, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-1202-6609>; *e-mail*: ivanilova.tn@gmail.com

Alexey V. Kushnerov, Head of the Multimedia Educational Content Development Sector, Electronic Educational Resources Development Department, Department of Information and Communication Technologies in Education, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-5384-6099>; *e-mail*: kushnerov_av@sibsau.ru

Viktor A. Semenov, Head of the Electronic Educational Resources Development Department, Department of Information and Communication Technologies in Education, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-1343-5014>; *e-mail*: v1992@mail.ru

Ilya A. Ilyushin, a 4th year student at the Department of Information and Control Systems, Institute of Informatics and Telecommunications, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-6698-102X>; *e-mail*: kqngwap@gmail.com

Alexander V. Seregin, a 4th year student at the Department of Information and Control Systems, Institute of Informatics and

Telecommunications, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-7047-2466>; *e-mail*: sear_ring@mail.ru

Поступила в редакцию / Received: 24.11.2022.

Поступила после рецензирования / Revised: 24.02.23.

Принята к печати / Accepted: 28.02.23.