

Обзорная статья
УДК 378.147.88
DOI: 10.25683/VOLBI.2025.72.1397

Inna Mikhailovna Zentsova
 Candidate of Pedagogy,
 Associate Professor of the Department
 of General Scientific Disciplines,
 Berezniki Branch of Perm National
 Research Polytechnic University
 Berezniki, Russian Federation
 imzencova@mail.ru

Galina Raskatovna Chaynikova
 Candidate of Pedagogy,
 Associate Professor of the Department
 of General Scientific Disciplines,
 Berezniki Branch of Perm National
 Research Polytechnic University
 Berezniki, Russian Federation
 galinatsch@mail.ru

Alexander Pavlovich Ovchinnikov
 2nd-year student of the Department
 of General Scientific Disciplines,
 field of training
 18.03.01 — Chemical technology,
 Berezniki Branch of Perm National
 Research Polytechnic University
 Berezniki, Russian Federation
 Sasha-ovchinnikov_1987@mail.ru

Инна Михайловна Зенцова
 канд. пед. наук,
 доцент кафедры общенаучных дисциплин,
 Березниковский филиал
 Пермского национального исследовательского
 политехнического университета
 Березники, Российская Федерация
 imzencova@mail.ru

Галина Раскатовна Чайникова
 канд. пед. наук,
 доцент кафедры общенаучных дисциплин,
 Березниковский филиал
 Пермского национального исследовательского
 политехнического университета
 Березники, Российская Федерация
 galinatsch@mail.ru

Александр Павлович Овчинников
 студент II курса кафедры общенаучных дисциплин,
 направление подготовки
 18.03.01 — Химическая технология,
 Березниковский филиал
 Пермского национального исследовательского
 политехнического университета
 Березники, Российская Федерация
 Sasha-ovchinnikov_1987@mail.ru

МЕТОДИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ В ВЫСШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ УЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

5.8.2 — Теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования)

Аннотация. В статье рассматриваются особенности организации виртуальных лабораторных работ по физике в технических вузах. Данный вид лабораторных работ способствует формированию экспериментальных умений и навыков по физике. С этой целью можно использовать виртуальные лабораторные работы из раздела «Электричество» как безопасный тренажер. На основе анализа научных публикаций отечественных и зарубежных ученых сделан вывод, что недостаточно представлено методическое сопровождение виртуальных лабораторных работ. Авторами инструменты для выполнения виртуальных лабораторных работ по физике распределены на два вида: 1) программное обеспечение; 2) сервисы на сайтах сети «Интернет». Выполнен обзор программного обеспечения для моделирования физических процессов. Определен перечень сервисов сети «Интернет», на которых имеются разработанные виртуальные лабораторные работы по разделу «Электричество». Методическое сопровождение включает в себя постановку целей, изучение теоретических сведений, работу по инструкции с интерактивной моделью, оцен-

ку и самооценку, интеграцию с натурным экспериментом. Разработаны методические рекомендации для проведения виртуальных лабораторных работ на примере работы «Электрическое поле точечных зарядов». Компоненты данной виртуальной лабораторной работы, для которых даны рекомендации: 1) организация работы, 2) краткая теория, 3) инструкция, 4) исследование поля точечного заряда, 5) исследование поля диполя, 6) обработка результатов и оформление отчета, 7) вопросы и задания для самоконтроля. В методических рекомендациях для организации виртуальных лабораторных работ отмечается использование нейросетей и цифровых платформ для проведения вебинаров. Статья адресована преподавателям физики и методикам высших технических учебных учреждений.

Ключевые слова: высшее техническое учебное учреждение, методика обучения физике, виртуальные лабораторные работы, сервисы по физике, методические рекомендации, моделирование физических процессов, электричество, конструкторы электрических цепей, интерактивная модель, электрическое поле точечных зарядов

Для цитирования: Зенцова И. М., Чайникова Г. Р., Овчинников А. П. Методическое сопровождение виртуальных лабораторных работ по электричеству в высших технических учебных учреждениях // Бизнес. Образование. Право. 2025. № 3(72). С. 455—461. DOI: 10.25683/VOLBI.2025.72.1397.

Review article

METHODOLOGICAL SUPPORT OF VIRTUAL LABORATORY WORKS ON ELECTRICITY IN HIGHER TECHNICAL EDUCATION INSTITUTIONS

5.8.2 — Theory and methodology of training and education (by areas and levels of education)

Abstract. *The article discusses the specifics of organizing virtual laboratory works in physics at technical universities. This type of laboratory works contributes to the formation of experimental skills in physics. For this purpose, the virtual laboratory works from the “Electricity” section can be used as a safe simulator. Based on the analysis of scientific publications of domestic and foreign scientists, it is concluded that methodological support for virtual laboratory work is not sufficiently provided. The authors of the article have divided the tools for virtual laboratory works in physics into two types: (1) software, (2) services on Internet sites. An overview of the software for modeling physical processes is performed. A list of Internet services is defined, which present developed virtual laboratory works on the “Electricity” section. Methodological support includes setting goals, studying theoretical information, working according to instructions with an interactive model, assessment and self-assessment, integration with a field experiment.*

Methodological recommendations for conducting virtual laboratory works have been developed using the example of the work “Electric field of point charges”. The components of this virtual laboratory work, for which recommendations are given, are: (1) organization of the work, (2) brief theory, (3) instructions, (4) investigation of the point charge field, (5) investigation of the dipole field, (6) processing of results and preparation of the report, (7) questions and tasks for self-control. The guidelines for the organization of virtual laboratory works note the use of neural networks and digital platforms for conducting webinars. The article is addressed to physics teachers and methodologists of higher technical education institutions.

Keywords: *higher technical education institution, methods of teaching physics, virtual laboratory works, physics services, methodological recommendations, modeling of physical processes, electricity, designers of electrical circuits, interactive model, electric field of point charges*

For citation: Zentsova I. M., Chaynikova G. R., Ovchinnikov A. P. Methodological support of virtual laboratory works on electricity in higher technical education institutions. *Biznes. Obrazovanie. Pravo = Business. Education. Law*. 2025;3(72):455—461. DOI: 10.25683/VOLBI.2025.72.1397.

Введение

Актуальность. В высших технических учебных заведениях необходимым компонентом для подготовки будущего инженера выступают лабораторные работы по физике. Виртуальные лабораторные работы по физике не смогут заменить работу студентов технических вузов с реальным оборудованием, но имеют огромный потенциал для отработки основных практических умений и навыков по физике и подготовке обучающихся к проведению натурного эксперимента. Одним из разделов, в котором целесообразно использовать виртуальные лабораторные работы, является «Электричество». Это обусловлено тем, что виртуальные лабораторные работы являются безопасными и доступными, предоставляющими возможность многократного повторения.

Изученность проблемы. Проблеме организации виртуальных лабораторных работ по физике посвящено достаточно много исследований отечественных ученых: М. Е. Бондиной [1], А. В. Прохоренко и В. И. Римлянда [2], А. В. Баранова [3] (все — 2021 г.), А. А. Машиньяна, Н. В. Кочергиной, О. В. Бирюковой, Д. Д. Бабаева 2022 г. [4], О. А. Дубровиной, А. А. Солдатова, О. Н. Майоровой [5], И. Л. Шейнмана [6], О. С. Дмитриева, И. А. Осиповой, О. В. Исаевой [7] (все — 2023 г.), В. П. Шамоты и В. Е. Казаковой [8], Ж. В. Мекшеневой и Р. А. Водолаженко [9], С. М. Новикова и П. О. Терешко [10], Е. Л. Гусейновой [11], П. В. Гуниной [12] (все — 2024 г.) и др.

Общая характеристика виртуальных лабораторных работ по физике дается в трудах И. Л. Шейнмана [6], Е. Л. Гусейновой [11], А. А. Машиньяна, Н. В. Кочергиной, О. В. Бирюковой, Д. Д. Бабаева [4] и П. В. Гуниной [12]. И. Л. Шейнман определяет ключевые особенности использования виртуальных лабораторных работ по физике, среди которых их кросс-платформенность, имитация существенных особенностей физического эксперимента и реализация виртуальной лабораторной установки на базе реального физического

эксперимента [6]. Е. Л. Гусейнова определяет преимущества виртуальных лабораторных работ: безопасность, универсальность, многофункциональность, отсутствие материальных затрат на воссоздание некоторых процессов, наблюдение за быстро и медленно протекающими процессами, упрощение ввода данных [11]. А. А. Машиньян, Н. В. Кочергина, О. В. Бирюкова, Д. Д. Бабаев определили наиболее распространенные типы виртуальных лабораторных работ: анимации и видеофильмы [4]. П. В. Гунина определяет состав виртуальных лабораторий: оборудование, эксперименты, анализ данных, обучающие материалы [12]. А. В. Баранов определил структуру методических рекомендаций для виртуальных лабораторных работ по физике [3].

В высших технических учебных заведениях разрабатываются виртуальные лабораторные работы по электричеству и предлагаются для работы со студентами. Например, О. С. Дмитриев, И. А. Осипова, О. В. Исаева излагают опыт использования разработанных Тамбовским государственным техническим университетом виртуальных лабораторных работ по физике на примере работы «Определение сопротивления с помощью мостика Уитстона» [7]. В. П. Шамота и В. Е. Казакова освещают виртуальные лабораторные работы, созданные Новосибирским государственным техническим университетом (https://ciu.nstu.ru/kaf/of/virtualne_laboratorne_rabot). Среди данных лабораторных работ, посвященных разделу физики «Электричество», имеется работа «Определение диэлектрической проницаемости жидкого диэлектрика» [8].

Часть исследователей делает обзор виртуальных лабораторных работ, созданных на различных порталах и сайтах сети «Интернет». В статье Ж. В. Мекшенева и Р. А. Водолаженко речь идет о работе с виртуальной лабораторией от *SUNSPIRE* с технологиями дополненной и виртуальной реальности. В данной лаборатории представлены различные разделы физики, в т. ч. «Электричество» [9].

В фокусе научных работ современных исследователей находится содержание виртуальных лабораторных работ по электричеству. А. В. Прохоренко и В. И. Римлянд предлагают рассмотреть виртуальные лабораторные работы «Электрические поля точечных зарядов», «Лаборатория конденсаторов», «Электрическая цепь постоянного тока», представленные на сайте Университета штата Колорадо [2]. М. Е. Бондина отмечает целесообразность использования виртуальных лабораторных работ при изучении диэлектрического гистерезиса и исследовании цепей постоянного тока [1].

Однако проблема методического сопровождения виртуальных лабораторных работ в области электричества освещена недостаточно полно. Следует выделить статью С. М. Новикова и П. О. Терешко, в которой представлена система учебно-методических материалов (методическое пособие, обучающие и контролирующие компьютерные тесты) для работы с виртуальным лабораторным стендом «Изучение электростатического поля заряженных тел», разработанным Московским государственным техническим университетом гражданской авиации [10].

Некоторые исследователи работают над систематизацией программного обеспечения, позволяющего моделировать физические процессы и явления. Например, О. А. Дубровина, А. А. Солдатов, О. Н. Майорова предлагают использовать в обучении студентов следующие виртуальные лаборатории: *Virtual Lab, Simula, MATLAB* [5].

Виртуальные лабораторные работы вызывают интерес и у зарубежных ученых. Среду *MATLAB* в качестве инструмента моделирования электромагнитных явлений предлагают использовать М. М. Байт-Сувайлам, Дж. Джервейз, Х. Аль-Лавати, З. Надир [13], М. П. М. де Суза, С. П. Оливейра, В. Л. Луис [14] и др.

Дж. Ли, У. Лян выявили, что виртуальные лаборатории являются значимым фактором, влияющим на результаты инженерного образования [15]. Р. Н. де Медейрус, М. Д. Наиа, Ж. Б. Лопес описали преимущества виртуальной лаборатории по электромагнетизму в рамках гибридного обучения [16].

Н. Кастро-Гутьеррес, Х. А. Флорес-Крус, Ф. Акоста Магальянес описывают виртуальные образовательные среды, специально предназначенные для инженерных специальностей. Для студентов высшей школы были разработаны виртуальные лабораторные работы, посвященные изучению электрического поля и электродвижущей силы, закона Ома, закон Кулона [17].

Д. Каминьска с соавторами используют инструменты виртуальной реальности для обучения студентов инженерных вузов взаимодействию с 3D-моделями реальных приборов и устройств. В качестве примера приводится лабораторная работа по изучению характеристик электродвигателя (напряжение, частота, мощность и др.). К недостаткам использования виртуальной реальности в процессе обучения студентов исследователи относят низкую реалистичность электродвигателей, а также использование VR-шлемов, которые оказывают достаточно большую нагрузку на шею [18].

А. М. Альшариф сравнивает эффективность применения виртуальных лабораторных работ и реальных экспериментов. Автор приходит к выводу, что студенты достигают большего понимания физических процессов при работе с виртуальными лабораториями. Это связано с тем, что некоторые реальные лабораторные работы ску-

чны, а виртуальные лабораторные работы безопасны, экономят бюджет на лабораторные установки и допускают возможность многократного повторения [19].

С. Дханг и Ч. С. Кумар предлагают следующее методическое сопровождение для выполнения виртуальных лабораторных работ: цель, предварительный тест, теория, алгоритм проведения виртуального эксперимента, моделирование, анкета для самооценки после проведения эксперимента, ссылки на дополнительную информацию, видео и др. [20].

Таким образом, в научно-методической литературе дана общая характеристика виртуальных лабораторных работ по электричеству, определены основные направления в области методики их применения.

Целесообразность разработки темы. Анализ научных публикаций отечественных и зарубежных исследователей показал, что не вызывает сомнений эффективность использования виртуальных лабораторных работ по электричеству. Достаточно много предлагается инструментов и сервисов для проведения данного вида работ, однако не в полном объеме представлено методическое сопровождение виртуальных лабораторных работ по электричеству. В настоящее время система учебно-методических материалов для виртуального лабораторного стенда «Изучение электростатического поля заряженных тел» рассматривается только в работе С. М. Новикова и П. О. Терешко [10].

Цель исследования заключается в уточнении методического сопровождения виртуальных лабораторных работ по электричеству.

Задачи исследования:

1. Дать характеристику исследований в области организации виртуальных лабораторных работ по разделу «Электричество».

2. Разработать методические рекомендации для проведения виртуальных лабораторных работ на примере работы «Электрическое поле точечных зарядов».

Научная новизна заключается в определении видов инструментов для проведения виртуальных лабораторных работ по физике.

Теоретическая значимость исследования обусловлена вкладом в методику проведения лабораторных работ по физике.

Практическая значимость исследования состоит в разработке методических рекомендаций для проведения виртуальных лабораторных работ на примере работы «Электрическое поле точечных зарядов».

Основная часть

Методология исследования. Исследование опирается на анализ, обобщение и систематизацию отечественной и зарубежной научно-методической литературы в области методики обучения физике в высшей школе.

Результаты исследования. Среди инструментов для выполнения виртуальных лабораторных работ по физике можно выделить два вида: 1) программное обеспечение, 2) сервисы на сайтах сети «Интернет».

Характеристика программного обеспечения для моделирования физических процессов для проведения виртуальных лабораторных работ представлена в табл. 1.

Перечень сервисов сети «Интернет», на которых имеются разработанные виртуальные лабораторные работы по электричеству, приведен в табл. 2.

Таблица 1

Программное обеспечение для моделирования физических процессов

Программное обеспечение	Характеристика
<i>MATLAB/Simulink</i>	Программа служит для компьютерного моделирования физических процессов
<i>Working Model 2D</i>	Программа выступает как симулятор движения тел с расчетом сил, скоростей, ускорений
<i>Multisim</i>	Программа для расчета электрических цепей
<i>COMSOL Multiphysics</i>	Программа для интерактивного построения физических моделей, автоматизации расчетов, решения мультифизических задач
<i>LabVIEW</i>	Программа позволяет осуществлять визуальное программирование, работать с виртуальными приборами и готовыми библиотеками для механики, оптики, электроники
<i>SolidWorks Simulation</i>	Программа для расчета прочности и жесткости, тепловых расчетов, оптимизации конструкций

Таблица 2

Сервисы по физике на сайтах сети «Интернет»

Сервис	Адрес в сети «Интернет»	Виртуальные лабораторные работы по электричеству
<i>VRLabAcademy — Electromagnetism-Laboratory</i>	https://www.vrlabacademy.com/?utm_source=chatgpt.com	«Закон Био—Савара—Лапласа», «Закон Кулона», «Эквипотенциальные линии и электрическое поле», «Электростатика»
<i>PhET Interactive Simulations</i>	https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc	«Закон Кулона», «Лаборатория конденсаторов», «Заряды и поля»
<i>Labster</i>	https://www.labster.com/simulations	«Закон Кулона», «Основы электротехники»
Облако знаний	https://oblakoz.ru	«Электрическое поле точечных зарядов», «Теорема Остроградского—Гаусса для электростатического поля в вакууме», «Закон Ома для неоднородного участка цепи», «Цепи постоянного тока», «Зависимость мощности и КПД источника постоянного тока от внешней нагрузки»
<i>SUNSPIRE</i>	https://sunspire.site/ru/products/general-physics/	«Изучение закона Ома», «Исследование электрического поля»

Отдельно следует выделить конструкторы электрических цепей, позволяющих разрабатывать электрические цепи в браузере, а именно:

- *Circuit Diagram* (<https://www.circuit-diagram.org/editor/>);
- *EveryCircuit* (<https://everycircuit.com/>);
- *DCACLab* (<https://dcaclab.com/>);
- *CircuitLab* (<https://www.circuitlab.com/>);
- *Visual Paradigm* (<https://online.visual-paradigm.com/ru/>);
- *Proteus* (<https://www.labcenter.com/>);
- *NGSpice* (<https://ngspice.sourceforge.io/>);
- *CircuitLogix* (<https://www.circuitlogix.com>).

При использовании данных конструкторов для преподавателя трудность состоит в том, что ему будет необходимо полностью разработать содержание и методическое сопровождение виртуальной лабораторной работы.

Отметим, что достаточно большое количество выше перечисленных сервисов представлено на английском языке, что может вызвать затруднения при их использовании. Однако, автоматический переводчик в браузере позволит преодолеть данные затруднения.

Методическое сопровождение виртуальных лабораторных работ включает в себя постановку целей, изучение теоретических сведений, работу по инструкции с интерактивной моделью, оценку и самооценку, интеграцию с натурным экспериментом.

Реализацию данной структуры методического сопровождения рассмотрим на примере работы «Электрическое поле точечных зарядов» в сервисе «Облако знаний», раздел «ВУЗ» (<https://oblakoz.ru>).

Составляющими компонентами данной виртуальной лабораторной работы являются: 1) организация работы, 2) краткая теория, 3) инструкция, 4) исследование поля

точечного заряда, 5) исследование поля диполя, 6) обработка результатов и оформление отчета, 7) вопросы и задания для самоконтроля.

Далее предлагаются методические рекомендации по каждому из элементов виртуальной лабораторной работы.

1. *Организация работы.* После того как виртуальная лабораторная работа была назначена студентам, следует обратить их внимание на сроки выполнения работы. Преподаватель показывает роль и место лабораторной работы «Электрическое поле точечных зарядов» в курсе физики и в разделе «Электричество». Затем со студентами обсуждается цель работы (см. рис. 1). После этого определяются критерии, по которым можно определить, что цель работы достигнута.

2. *Краткая теория.* При изучении краткой теории внимание студентов обращается на основные понятия (см. рис. 2), характеристики электрического заряда, сходства и отличия напряженности и потенциала электрического поля. Следует сделать акцент на понимании и применении обучающими закона Кулона и закона (теоремы) Гаусса для электрического поля.

3. *Инструкция.* К предлагаемой инструкции по работе с интерактивной моделью (см. рис. 3) следует добавить задание по формулировке вывода.

4. *Исследование поля точечного заряда.* Данный сервис предлагает работу с интерактивной моделью (см. рис. 4), у которой имеется возможность изменять заряды системы и место расположения зарядов, а также расстояния между ними. После анализа полученных данных следует построить графики зависимости силы от расстояния между зарядами (при неизменных зарядах) и зависимости силы от произведения зарядов (при постоянном расстоянии). Затем необходимо подвести итог по проделанной части работы.

5. *Исследование поля диполя.* При исследовании электрического поля диполя следует обратить внимание на то, что интерактивная модель используется одна и та же, но физические модели разные (электрический заряд и электрический диполь) (см. рис. 5).

6. *Обработка результатов и оформление отчета.* При обработке результатов предлагается построить графики на бумаге, однако целесообразно рекомендовать использовать для этой цели такое программное обеспечение, как *MS Excel*, «КОМПАС 3D» и др. (см. рис. 6)

7. *Вопросы и задания для самоконтроля.* Для осуществления рефлексии выполненной работы студентам следует рекомендовать использовать информацию из раздела «Краткая теория», полученной с использованием искусственного интеллекта, обучающиеся должны ответить на вопросы и задания для самоконтроля (см. рис. 7). При этом следует обратить внимание студентов, что информация обязательно должна быть проверена при помощи нескольких нейросетей и электронными библиотечными системами («Юрайт», «Лань» и др.).

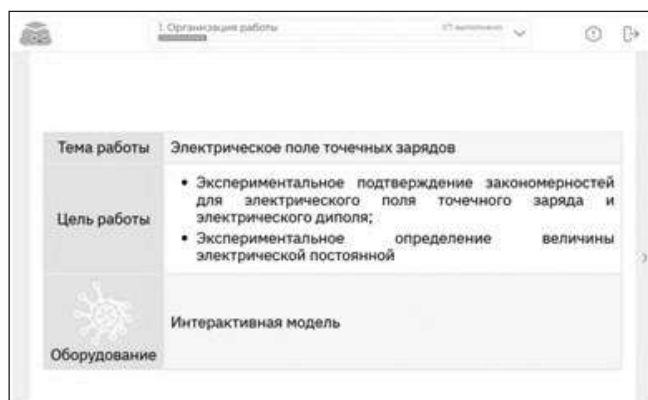


Рис. 1. Раздел «Организация работы»



Рис. 2. Раздел «Краткая теория»

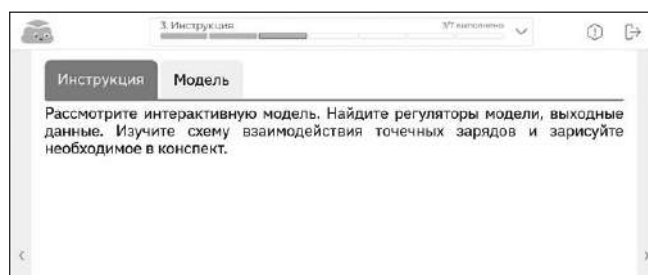


Рис. 3. Раздел «Инструкция»

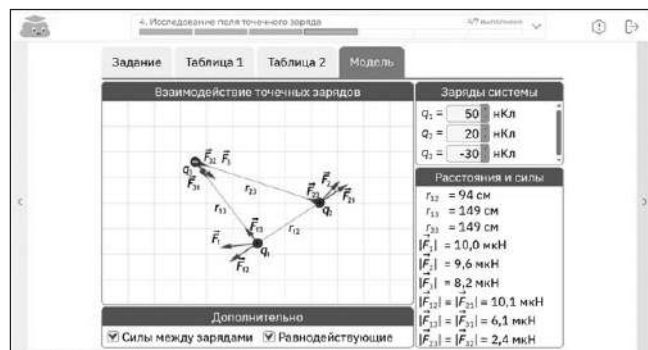


Рис. 4. Раздел «Исследование поля точечного заряда»

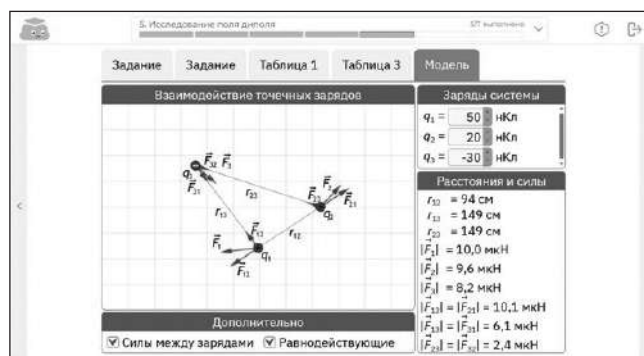


Рис. 5. Раздел «Исследование поля диполя»

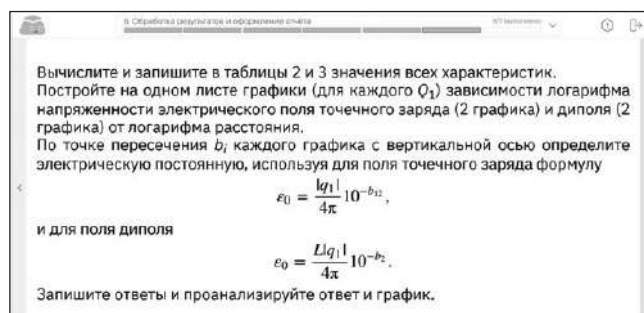


Рис. 6. Раздел «Обработка результатов и оформление отчета»

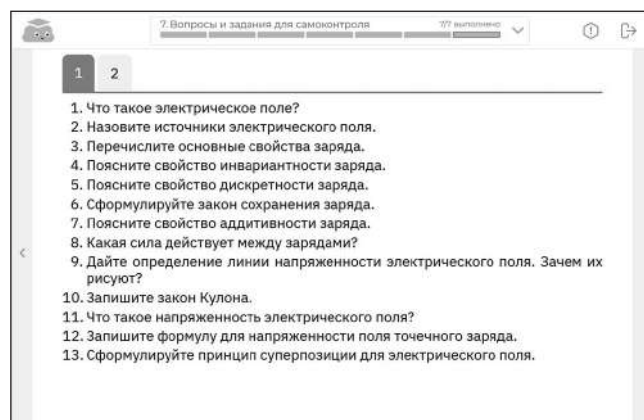


Рис. 7. Раздел «Вопросы и задания для самоконтроля»

По завершении виртуальной лабораторной работы необходимо провести собеседование преподавателя со студентом для выявления степени самостоятельности и уровня осознанности выполнения работы. Данное собеседование можно провести на основе цифровых платформ (например, *Big Blue Button*, «МТС Линк», «VK видео», «Яндекс Телемост» и др.). Затем студенты приступают к выполнению на реальной установке лабораторной работы «Исследование электростатического поля методом моделирования».

Заключение, выводы

Таким образом, в статье выделены два вида инструментов для выполнения виртуальных лабораторных работ по физике: 1) программное обеспечение, 2) сервисы на сайтах сети «Интернет». Для каждого из этих видов инструментов подобраны соответствующие примеры. Информационные технологии непрерывно развиваются, поэтому перечень инструментов для выполнения виртуальных лабораторных работ по физике должен постоянно пополняться.

Даны методические рекомендации по организации виртуальных лабораторных работ по электричеству на примере лабораторной работы «Электрическое поле точечных заря-

дов». Эти методические рекомендации выстроены в соответствии с компонентами виртуальной лабораторной работы: 1) организация работы, 2) краткая теория, 3) инструкция, 4) исследование поля точечного заряда, 5) исследование поля диполя, 6) обработка результатов и оформление отчета, 7) вопросы и задания для самоконтроля.

Преподавателю необходимо организовывать обучение студентов таким образом, чтобы за каждой виртуальной лабораторной работой следовал натурный эксперимент, ее дополняющий и развивающий. В продолжение разработки предложенной темы следует обратить внимание на работу с электронными конструкторами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бондина М. Е. Некоторые аспекты применения новых информационных технологий в лабораторном практикуме по физике // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: Психолого-педагогические науки. 2021. № 1. С. 123—126.
2. Прохоренко А. В., Римлянд В. И. Виртуальные лабораторные работы как метод самостоятельной работы студентов // ТОГУ-Старт: фундаментальные и прикладные исследования молодых : материалы регион. науч.-практ. конф. Хабаровск : Тихоокеан. гос. ун-т, 2021. С. 428—434.
3. Баранов А. В. Экспериментирование и моделирование в виртуальных лабораториях физики // Электронные средства и системы управления : материалы докл. XVII Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Томск : В-Спектр, 2021. Ч. 2. С. 179—181.
4. Машиньян А. А., Кочергина Н. В., Бирюкова О. В., Бабаев Д. Д. Виртуальные лабораторные работы по физике в техническом вузе // Перспективы науки и образования. 2022. № 4(58). С. 209—224. DOI: 10.32744/pse.2022.4.13.
5. Дубровина О. А., Солдатов А. А., Майорова О. Н. Использование виртуальных лабораторий в образовательном процессе вуза // Высшее образование в эпоху глобальных трансформаций: достижения, вызовы, перспективы : материалы XV Междунар. учеб.-метод. конф. Чебоксары : Чуваш. гос. ун-т им. И. Н. Ульянова, 2023. С. 168—172.
6. Шейнман И. Л. Виртуальные лабораторные работы для дистанционного обучения физике // Современное образование: содержание, технологии, качество : материалы XXIX междунар. науч.-метод. конф. СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. С. 368—369.
7. Дмитриев О. С., Осипова И. А., Исаева О. В. Опыт использования виртуальных лабораторных работ по физике // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2023. № 3(89). С. 144—152.
8. Шамота В. П., Казакова В. Е. Виртуальные лабораторные работы по физике // Современные проблемы математики, физики и физико-математического образования : материалы XIII междунар. науч.-практ. конф. Орехово-Зуево : Гос. гуманитар.-технол. ун-т, 2024. С. 223—226.
9. Мекшенева Ж. В., Водолаженко Р. А. Особенности применения виртуальных лабораторных работ при изучении физики и математики в колледже и вузе // Роль бизнеса в трансформации общества — 2024 : XIX Междунар. конгр. (междунар. науч.-практ. конф.) : сб. материалов. М. : Моск. финанс.-пром. ун-т «Синергия», 2024. С. 358—361.
10. Новиков С. М., Терешко П. О. Виртуальный лабораторный стенд по физике «Изучение электростатического поля заряженных тел» // Рефлексия. 2024. № 1. С. 103—108.
11. Гусейнова Е. Л. Применение виртуальной лабораторной работы в учебном процессе технического вуза // Сибирский педагогический журнал. 2024. № 3. С. 59—69. DOI: 10.15293/1813-4718.2403.06.
12. Гунина П. В. Значение виртуальных лабораторий в образовательном процессе высшей школы // Современная педагогика и научные исследования в образовательной организации высшего образования : материалы Всерос. науч.-метод. конф. Кострома : Воен. акад. радиац., хим. и биол. защиты им. Маршала Совет. Союза С. К. Тимошенко М-ва обороны Рос. Федерации, 2024. Ч. 1. С. 91—97.
13. Bait-Suwailam M. M., Jervase J., Al-Lawati H., Nadir Z. An Active Learning Computer-Based Teaching Tool for Enhancing Students' Learning and Visualization Skills in Electromagnetics // International Journal of Electronics and Telecommunications. 2023. Vol. 69. No. 1. Pp. 53—60. DOI: 10.24425/ijet.2023.144331.
14. de Souza M. P. M., Oliveira S. P., Luiz V. L. Motor elétrico – SimuFísica®: um aplicativo para o ensino de eletromagnetismo // Revista Brasileira de Ensino de Física. 2024. Vol. 46. Art. e20230219. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0219.
15. Li J., Liang W. Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis // PLoS ONE. 2024. Vol. 19. No. 12. Art. e0316269. DOI: 10.1371/journal.pone.0316269.
16. de Medeiros R. N., Naia M. D., Lopes J. B. Virtual Laboratory in Electromagnetism: A Study of Instrumental Orchestration // Technology and Innovation in Learning, Teaching and Education (TECH-EDU 2022) : Third International Conference / eds. A. Reis, J. Barroso, P. Martins et al. Cham : Springer, 2022. Pp. 178—192. (Communications in Computer and Information Science; vol. 1720). DOI: 10.1007/978-3-031-22918-3_14.
17. Castro-Gutiérrez N., Flores-Cruz J. A., Acosta Magallanes F. Виртуальная лаборатория электромагнетизма как дидактическая стратегия, использующая подход ситуационного обучения в инженерном деле // Publicaciones. 2023. Vol. 53. Iss. 2. Pp. 275—292. (На англ. яз.) DOI: 10.30827/publicaciones.v53i2.26827.
18. Virtual Reality-Based Training: Case Study in Mechatronics / D. Kamińska, G. Zwoliński, S. Wiak et al. // Technology, Knowledge and Learning. 2021. Vol. 26. Iss. 4. Pp. 1043—1059. DOI: 10.1007/s10758-020-09469-z.

19. Alsharif A. M. Virtual Simulation Lab Experiments versus Conventional Experiments in Teaching Physics - Comparative Study // *International Journal of Education*. 2024. Vol. 16. No. 1. Pp. 34—45. DOI: 10.5296/ije.v16i1.21461.
20. Dhang S., Kumar C. S. Efficient web-based simulation on analog electronics circuits laboratory // *Computer Applications in Engineering Education*. 2023. Vol. 31. Iss. 3. Pp. 777—788. DOI: 10.1002/cae.22623.

REFERENCES

1. Bondina M. Some aspects of the application of new information technologies in the laboratory practice in physics. *Izvestiya Baltiiskoi gosudarstvennoi akademii rybopromyslovogo flota: Psikhologo-pedagogicheskie nauki = The Tidings of the Baltic State Fishing Fleet Academy: Psychological and Pedagogical sciences*. 2021;1:123—126. (In Russ.)
2. Prokhorenko A. V., Rimlyand V. I. Virtual laboratory works as a method of independent work of students. *TOGU-Start: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya molodykh = PSU-Start: fundamental and applied research of the young. Materials of the regional scientific and practical conference*. Khabarovsk, Pacific State University publ., 2021:428—434. (In Russ.)
3. Baranov A. V. Experimentation and modeling in virtual physics laboratories. *Elektronnye sredstva i sistemy upravleniya = Electronic tools and control systems. Proceedings of the XVII International scientific and practical conference*. Tomsk, V-Spektr, 2021;2:179—181. (In Russ.)
4. Mashinyan A. A., Kochergina N. V., Babaev D. D., Biriukova O. V. Virtual laboratory work in physics at a technical university. *Perspektivy nauki i obrazovaniya = Perspectives of Science and Education*. 2022;4(58):209—224. (In Russ.) DOI: 10.32744/pse.2022.4.13.
5. Dubrovina O. A., Soldatov A. A., Maiorova O. N. The use of virtual laboratories in the educational process of the university. *Vysshee obrazovanie v epokhu global'nykh transformatsii: dostizheniya, vyzovy, perspektivy = Higher education in the era of global transformations: achievements, challenges, prospects. Proceedings of the XV International educational and methodological conference*. Cheboksary, Chuvash State University publ., 2023:168—172. (In Russ.)
6. Sheinman I. L. Virtual labs for distance learning physics. *Sovremennoe obrazovanie: sodержanie, tekhnologii, kachestvo = Modern education: content, technology, quality. Proceedings of the XXIX International scientific and methodological conference*. Saint Petersburg, St. Petersburg Electrotechnical University "LETI" publ., 2023:368—369. (In Russ.)
7. Dmitriev O. S., Osipova I. A., Isaeva O. V. Experience of using virtual laboratory assignments in physics. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo = Problems of contemporary science and practice. Vernadsky University*. 2023;3(89):144—152. (In Russ.)
8. Shamota V. P., Kazakova V. E. Virtual laboratory work in physics. *Sovremennye problemy matematiki, fiziki i fiziko-matematicheskogo obrazovaniya = Modern problems of mathematics, physics and physico-mathematical education: Proceedings of the XIII International scientific and practical conference*. Orekhovo-Zuyevo, State University of Humanities and Technology publ., 2024:223—226. (In Russ.)
9. Meksheneva Zh. V., Vodolazhenko R. A. Features of the use of virtual laboratory work in the study of physics and mathematics in college and university. *Rol' biznesa v transformatsii obshchestva — 2024 = The role of business in the transformation of society – 2024. XIX International Congress (International scientific and practical conference). Proceedings*. Moscow, Moscow Financial and Industrial University «Synergy» publ., 2024:358—361. (In Russ.)
10. Novikov S. M., Tereshko P. O. Virtual laboratory stand in physics “study of the electrostatic field of charged bodies”. *Refleksiya*. 2024;1:103—108. (In Russ.)
11. Guseinova E. L. Application of Virtual Laboratory Work in the Educational Process of the University. *Sibirskii pedagogicheskii zhurnal = Siberian Pedagogical Journal*. 2024;3:59—69. (In Russ.) DOI: 10.15293/1813-4718.2403.06.
12. Gunina P. V. The importance of virtual laboratories in the educational process at high school. *Sovremennaya pedagogika i nauchnye issledovaniya v obrazovatel'noi organizatsii vysshego obrazovaniya = Modern pedagogy and scientific research in an educational organization higher education. Proceedings of the All-Russian scientific and methodological conference*. Kostroma, Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection named after S. K. Timoshenko publ., 2024:91—97. (In Russ.)
13. Bait-Suwallam M. M., Jervase J., Al-Lawati H., Nadir Z. An Active Learning Computer-Based Teaching Tool for Enhancing Students' Learning and Visualization Skills in Electromagnetics. *International Journal of Electronics and Telecommunications*. 2023;69(1):53—60. DOI: 10.24425/ijet.2023.144331.
14. de Souza M. P. M., Oliveira S. P., Luiz V. L. Electric Motor – SimuFísica®: an application for teaching electromagnetism. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2024. Vol. 46. Art. e20230219. (In Portuguese) DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0219.
15. Li J., Liang W. Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. *PLoS ONE*. 2024;19(12):e0316269. DOI: 10.1371/journal.pone.0316269.
16. de Medeiros R. N., Naia M. D., Lopes J. B. Virtual Laboratory in Electromagnetism: A Study of Instrumental Orchestration. *Technology and Innovation in Learning, Teaching and Education (TECH-EDU 2022). Third International Conference. Communications in Computer and Information Science*; vol. 1720. A. Reis, J. Barroso, P. Martins et al. (eds.). Cham, Springer, 2022:178—192. DOI: 10.1007/978-3-031-22918-3_14.
17. Castro-Gutiérrez N., Flores-Cruz J. A., Acosta Magallanes F. Virtual Electromagnetism Laboratory as a didactic strategy using situated learning approach in engineering. *Publicaciones*. 2023;53(2):275—292. DOI: 10.30827/publicaciones.v53i2.26827.
18. Kamińska D., Zwoliński G., Wiak S. et al. Virtual Reality-Based Training: Case Study in Mechatronics. *Technology, Knowledge and Learning*. 2021;26(4):1043—1059. DOI: 10.1007/s10758-020-09469-z.
19. Alsharif A. M. Virtual Simulation Lab Experiments versus Conventional Experiments in Teaching Physics - Comparative Study. *International Journal of Education*. 2024;16(1):34—45. DOI: 10.5296/ije.v16i1.21461.
20. Dhang S., Kumar C. S. Efficient web-based simulation on analog electronics circuits laboratory. *Computer Applications in Engineering Education*. 2023;31(3):777—788. DOI: 10.1002/cae.22623.

Статья поступила в редакцию 08.08.2025; одобрена после рецензирования 29.08.2025; принята к публикации 01.09.2025.
The article was submitted 08.08.2025; approved after reviewing 29.08.2025; accepted for publication 01.09.2025.