



Научная статья
УДК 372.8
ББК 74.262.0
ГРНТИ 14.25.09
ВАК 5.8.2.
PACS 01.40.-d
OCIS 000.2060
MSC 00A79

Применение демонстрационного эксперимента по механике в лицее с использованием оборудования технопарка

В. А. Клопкива , В. В. Шишкарев  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 19 июня 2024 года
После переработки 26 сентября 2024 года
Опубликована 28 декабря 2024 года

Аннотация. Представлены результаты апробации системы демонстрационных экспериментов по механике в лицее с использованием оборудования технопарка. Показано, что если применять систему демонстрационных экспериментов по механике с использованием демонстрационного оборудования технопарка, то можно повысить успеваемость учащихся профильных технологических классов лицея в процессе подготовки учащихся к единому государственному экзамену по физике.

Ключевые слова: физика, механика, демонстрационный эксперимент, физический эксперимент, технопарк, учащиеся лицея, оборудование, процесс подготовки

Введение

В настоящее время важным аспектом в обучении учащихся является успешная подготовка к государственной итоговой аттестации для поступления в высшее учебное заведение. Сейчас век информационных технологий и техника с каждым годом меняется, для более эффективной наглядности учёные и конструкторы создают новое физическое оборудование. В школах России с каждым днём открываются новые технопарки, на их основе учащиеся более эффективно могут обучаться физике, информатике и другим учебным дисциплинам. Новое физическое оборудование позволяет вовлечь учащихся в активное обучение физике для подготовки к государственной итоговой аттестации и повысить познавательный интерес учащихся к физике. В настоящее время в образовательных организациях открылись технопарки, в которых созданы комфортные условия для обучения экспериментальной физики. В основе изучения физики лежит физический эксперимент. Важную роль в обучении физике имеет технопарк, на базе которого учащиеся лицея могут получить практические навыки работы с новым физическим оборудованием и экспериментальными установками по физике.

¹E-mail: svulgpu@mail.ru

Целью работы является разработка серии демонстрационных экспериментов по механике для учащихся технологических классов с целью повышения познавательной активности учащихся лица на базе технопарка.

В соответствии целью работы были поставлены следующие задачи работы:

1. составление литературного обзора по современным основам проведения демонстрационных экспериментов по механике в технопарке и анализ литературы по подготовке и проведению демонстрационных опытов по физике в рамках раздела по механике для учащихся профильных технологических классов с углубленным изучением физики в условиях технопарка;
2. выявление возможности применения системы демонстрационных экспериментов на базе технопарка для развития функциональной грамотности учащихся технологических классов в области физического эксперимента, способствующей повышению познавательной активности учащихся для повышения качества предметной подготовки учащихся по физике в классе технологического профиля;
3. проведение педагогического эксперимента для развития функциональной грамотности учащихся технологических классов в области физического эксперимента с использованием демонстрационного оборудования технопарка.

Объектом исследования является демонстрационный эксперимент по механике в условиях технопарка.

Предметом исследования является система демонстрационных экспериментов по механике для учащихся профильных технологических классов в технопарке.

Гипотеза исследования состоит в том, что если применять систему демонстрационных экспериментов по механике с использованием демонстрационного оборудования технопарка, то можно повысить успеваемость учащихся профильных технологических классов лица в процессе подготовки учащихся к единому государственному экзамену по физике.

Обзор

Демонстрационные эксперименты по школьной механике могут значительно улучшить понимание учащимися фундаментальных концепций с помощью увлекательных и интерактивных методов. Например, вычислительные демонстрации проблем вибрации, таких как вибрационная система с двумя степенями свободы, позволяют учащимся визуализировать и анализировать гармонические колебания с помощью Python и Jupyter Notebook, эффективно иллюстрируя такие явления, как антирезонанс [1]. Кроме того, 3D-печатное демонстрационное устройство силы отклонения объединяет механические структуры с электронными схемами, способствуя любопытству и более глубокому пониманию сил смещения посредством практического исследования [2]. Простые механические эксперименты, такие как эксперименты с вынужденными колебаниями, могут быть структурированы для соревнований начальной школы, обеспечивая практический опыт работы с физическими концепциями [3]. Кроме того, демонстрационные работы по механике твёрдого тела в классе с использованием повседневных материалов позволяют учащимся проводить испытания на растяжение и исследовать концентрации напряжений, закрепляя теоретические знания с помощью практического применения. Наконец, демонстрации без трения с использованием мелких пластиковых шариков облегчают преподавание различных законов механики, способствуя систематическому пониманию с минимальной ошибкой [4].

В статье [5] представлены демонстрационные материалы для занятий в классе, в частности метод демонстрации, заданий и оценки, который включает практические упражнения для обучения ключевым понятиям статики, таким как равновесие и центр

тяжести, эффективно вовлекая студентов первого курса инженерного факультета в изучение механики. В работе [6] обсуждается использование видеодемонстраций по механике материалов, улучшающих обучение в классах. В работе [6] освещаются три конкретные темы: тепловые эффекты, поперечный сдвиг при изгибе и комбинированная нагрузка, идеально подходящие для оценки результатов обучения как на вводных, так и на продвинутых курсах. В статье [7] предлагается экспериментальный и теоретический опыт обучения чистому кручению в упругих балках для решения этой проблемы и содействия развитию навыков работы в команде у студентов и их способности проводить эксперименты и делать выводы на основе результатов. В статье [7] описывается экспериментальный опыт обучения механике твёрдого тела, в котором 81 студент использовал недорогой торсиометр и корреляцию цифровых изображений для изучения чистого кручения в упругих балках, что улучшило их понимание и навыки совместной работы. В статье [8] описывается демонстрационный эксперимент с использованием большого маятника над полосой вощёной бумаги, позволяющий студентам вычислять скорости, кинетическую и потенциальную энергию и визуализировать сохранение механической энергии с помощью построенных кривых, что повышает вовлеченность и понимание механики. В статье [8] маятник использовался для непрерывных вычислений студентами инженерного факультета в общей физике и состоит из большого маятника, качающегося над полосой вощёной бумаги, были вычислены скорости шара в ряде положений, кинетическая и потенциальная энергия были рассчитаны для каждого положения и нанесены на график в зависимости от угла смещения маятника.

Результаты педагогического эксперимента

Проведём анализ эффективности системы демонстрационных экспериментов по механике в классе технологического профиля лицея в условиях технопарка.

В ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова» открылся технопарк, в котором могут проводиться ряд демонстрационных физических экспериментов по механике. Система демонстрационных экспериментов по механике для учащихся технологических классов в условиях технопарка была реализована в учебном процессе в десятых классах лицея УлГПУ имени И. Н. Ульянова. Целью педагогического эксперимента является апробация системы демонстрационных экспериментов по механике в условиях технопарка для учащихся технологических классов. Задачей педагогического эксперимента является выявлением эффективности разработанной системы демонстрационных экспериментов по механике в условиях технопарка в десятых классах.

В технопарке представлены три пособия для углубленного изучения физики. Компьютеризированный практикум по механике, написанный О. А. Поляевым, в котором описываются четыре лабораторные работы. Работы направлены на изучение и исследование ускорения свободного падения, динамики движения связанных тел, преобразование энергии и колебаний груза на пружинах [9]. Также в технопарке есть наборы для выполнения лабораторных работ по механике, в которых представлены руководства по их выполнению. Для демонстрационных экспериментов по механике в технопарке представлен отдельный набор для учителя, также со своим методическим пособием, где подробно описаны компьютеризированные эксперименты по физике. Методическое пособие состоит из описания шести разделов механики, а именно, кинематика, равномерное и неравномерное движение, поступательное движение с постоянным ускорением, динамика, законы сохранения, механические колебания и статика [10]. На сегодняшний день с каждым днём разрабатывается новое физическое оборудование, с его помощью можно воспроизводить как реальные, так и виртуальные эксперименты с помощью ноутбуков и компьютеров в рамках технопарка, а также в условиях дистанционного обучения [11].

При демонстрации физических экспериментов и опытов учителю необходимо придерживаться некоторых правил: установка должна быть видна каждому учащемуся, правильно описана, показываться в нужный момент урока, быть ёмкой, краткой, не занимать много времени от урока и быть понятной для учащихся [12]. Учителю необходимо перед уроком заранее самостоятельно проделать опыт, для достижения необходимого результата. Проверить приборы на исправность для достоверности результатов. В том случае, если установка будет неисправной или не рабочей, то у учащихся может пропасть интерес к предмету и доверие к учителю, поэтому очень важно учителю заранее проверить приборы на исправность [13]. Показывая демонстрационный эксперимент, учитель также обучает учащихся правилам техники безопасности и сборке установки. Так как в программе также рассчитаны и самостоятельные лабораторные работы по физике, на которых ученики будут сами собирать установки и формулировать выводы. По окончании демонстрационного эксперимента на уроке учителю важно обсудить с учащимися проделанный опыт, подвести их к самостоятельным выводам и определённым умозаключениям о физических явлениях. При необходимости и возможности учитель может проделать опыт ещё раз, например, с другого ракурса для фиксации других основных моментов, которые возможно ещё не были озвучены [14]. Во время физических экспериментов у учащихся развиваются отдельные черты характера личности, например, умение наблюдать за физическими явлениями, выделять существенные признаки физических явлений, аккуратность в работе, настойчивость в достижении поставленных целей, тщательность в получении достоверных результатов и формулирование выводов по окончании опытов [15]. На уроках физики для объяснения нового понятия или же для закрепления изученного материала учитель использует демонстрационный эксперимент для наглядности. Физическая демонстрация — это показ учителем физических явлений и связей между ними, которые предназначаются для одновременного восприятия учащимися. Наблюдая за научными демонстрациями, учащиеся развивают мышление, а также способность к самостоятельному анализу. Демонстрационные эксперименты могут повысить интерес учащихся к изучению предмета, а также развитию их функциональной грамотности [15].

При изучении физики главную роль играет демонстрационный эксперимент, именно благодаря демонстрационному эксперименту лучше усваивается теоретический материал по физике. Физические опыты способствуют развитию у учащихся мышления, логики и функциональной грамотности. При проведении демонстрационных опытов по физике следует придерживаться ряду правил, как учителю, так и учащимся. Необходимо инструктировать по технике безопасности при нахождении в физическом кабинете, установка должна быть понятна и видна всем учащимся, состоять исключительно из исправных физических приборов. Перед работой в физическом кабинете учителю необходимо провести инструктаж по технике безопасности поведения учащихся в данном кабинете. Нужно указать на установки, приборы и их скорость передвижения, чтобы обезопаситься. Большую опасность представляют электрические приборы, подключающиеся к сети, а также наиболее громоздкие установки при их передвижении по кабинету. Например, у электрических приборов не должно быть оголённых проводов, все провода должны быть заизолированы, необходимо следить за целостностью приборов. Прикасаться к оголённым проводам строго запрещено при включённом приборе в розетку. Не только учитель, но и учащиеся пользуются физическим оборудованием, поэтому важно учителю обратить на качество электрических проводов. Учителю физики необходимо владеть определёнными навыками и умениями для проведения демонстрационных экспериментов. Учителю должен знать и уметь преподносить учебный материал учащимся, уметь объяснять суть эксперимента. Учителю важно знать все используемые в работе приборы, их принцип действия и совместимость с другими приборами.

Демонстрационный эксперимент должен проводиться в подходящее время от урока. Учителю необходимо продумать, в какой части урока лучше всего его провести. Это может быть, как в начале, для заинтересованности учащихся, а также после объяснения теоретического материала для его закрепления. Основываясь на план урока учителю необходимо следить за временем, демонстрация должна быть ёмкой и не занимать большее время от урока. Демонстрация предполагает фиксирование теоретической значимости, проведение самого опыта и запись вывода, который можно сделать после демонстрации. По возможности демонстрация должна быть воспроизводимой, то есть возможность проделывать опыт несколько раз, для лучшего усвоения материала, если во время первого раза было что-то упущено. Каждый эксперимент должен нести за собой физический смысл и отражать природу. Опыт должен быть убедительным и содержательным, не должен вызывать сомнения поводов к неверным толкованиям.

В педагогическом эксперименте предполагалось сравнение текущих оценок за период изучения механики в десятых классах физико-математического профиля 2022 года обучения, класса химико-биологического профиля 2023 года обучения и класса физико-математического профиля 2023 года обучения. У третьего класса производилось обучение с использованием экспериментальных установок технопарка. После изучения раздела по механике проводился анализ успеваемости учащихся технологического класса в 2022 и 2023 годах и химико-биологического класса в 2023 году. Учащиеся технологического класса в результате изучения раздела по механике в 2022 году получили 29 % отметок «отлично», 39 % отметок «хорошо», 32 % отметок «удовлетворительно». Учащиеся технологического класса в результате изучения раздела по механике в 2023 году получили 33 % отметок «отлично», 42 % отметок «хорошо», 25 % отметок «удовлетворительно». Можно отметить, что количество оценок «удовлетворительно» уменьшилось, а количество оценок «хорошо» и «отлично» возросло. Это показывает, что разработанная система с физическим оборудованием технопарка работает наиболее эффективно, так как ученики технологического класса лица более вовлечены в учебный процесс.

Учащиеся класса химико-биологического профиля в результате изучения раздела по механике в 2023 году получили 25 % отметок «отлично», 45 % отметок «хорошо», 30 % отметок «удовлетворительно». Учащиеся класса физико-математического профиля в результате изучения раздела по механике в 2023 году получили 33 % отметок «отлично», 42 % отметок «хорошо», 25 % отметок «удовлетворительно». Можно отметить, что успеваемость в физико-математическом классе выше, чем в химико-биологическом, основываясь на том, что в технологических классах было более углубленное изучение предмета в условиях технопарка, а в классе химико-биологического профиля проводилось стандартное обучение по учебнику физики без использования оборудования технопарка.

Заключение

Представлены результаты апробации эффективности системы демонстрационных экспериментов по механике в условиях технопарка на экспериментальной группе из учащихся десятых классов лица УлГПУ имени И. Н. Ульянова при проведении занятий по физике с использованием физического оборудования технопарка. Стоит отметить, при изучении физики в школе важен демонстрационный эксперимент, так как физика экспериментальная наука. Именно в школе учащиеся знакомятся с основами физики, изучают как теоретические основы науки, также и закрепляют их на практике в виде решения задач, проведения экспериментов и лабораторных практиках. Важно, чтобы физическое оборудование было современным, так как техника обновляется с каждым годом. В связи с этим открываются технопарки, в которых современное поколение детей может наиболее эффективно обучаться и изучать новое.

Осуществлена разработка и совершенствование системы демонстрационных экспериментов по механике учащихся технологических классов следующих разделов: равномерное и неравномерное движение, кинематика, динамика и законы сохранения, способствующая развитию функциональной грамотности учащихся, самостоятельности и ответственности в области проведения физического эксперимента. Система демонстрационных экспериментов разработана на базе технопарка.

Проведена диагностика эффективности разработанной системы демонстрационных экспериментов по механике в условиях технопарка между прошедшим учебным годом текущим учебным годом, а также сравнение успеваемости химико-биологического и физико-математического классов. В результате сравнения сделан вывод, что разработанная система демонстрационных экспериментов позволяет эффективно усвоению материала на уроке с использованием оборудования технопарка. Система демонстрационных экспериментов по механике для технологических классов показала свою эффективность в процессе изучения механики с использованием оборудования технопарка.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если применять систему демонстрационных экспериментов по механике с использованием демонстрационного оборудования технопарка, то можно повысить успеваемость учащихся профильных технологических классов лицея в процессе подготовки учащихся к единому государственному экзамену по физике, подтверждена полностью.

Показано, что успеваемость учащихся технологического класса лицея повысилась за счёт применения системы демонстрационных экспериментов с использованием физического оборудования технопарка по механике. На основе выше сказанного можно сделать вывод о том, что разработанная система демонстрационных экспериментов по механике в условиях технопарка положительно сказывается на учебном процессе, успеваемость и эффективность изучения учащихся повысилась, по сравнению с предыдущим учебным годом и классом с другим уклоном. В условиях технопарка была апробирована система демонстрационных экспериментов по механике для учащихся технологических классов с использованием оборудования технопарка и экспериментально доказана эффективность системы подготовки по физике с использованием физического оборудования технопарка.

Список использованных источников

1. Sarkar Abhijit. Computational demonstration for classroom teaching of classical mechanics // *Engineering pedagogy*. — Springer Nature Singapore, 2023. — P. 79–99. — ISBN: 9789811980169. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-981-19-8016-9_7.
2. Yu Mingsheng, Mao Chunyu, Sun Xirui. Research on deviation force demonstration device based on 3D printing technology // *Proceedings of the 2018 8th International conference on management, education and information (MEICI 2018)*. — meici-18. — Atlantis Press, 2018. — URL: <http://dx.doi.org/10.2991/MEICI-18.2018.199>.
3. Rovsek Barbara. Simple mechanical experiment on forced oscillations // *Physics education*. — 2020. — jul. — Vol. 55, no. 5. — P. 055006. — URL: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6552/AB9322>.
4. Frictionless demonstration using fine plastic beads for teaching mechanics / K. Ishii [et al.] // *AIP Conference Proceedings*. — AIP, 2010. — P. 179–182. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3479863>.
5. Kim Yoonsoo. Learning statics through in-class demonstration, assignment and evaluation // *International journal of mechanical engineering education*. — 2015. — jan. — Vol. 43, no. 1. — P. 23–37. — URL: <http://dx.doi.org/10.1177/0306419015574643>.


6. Dietzler Michael, Crone Wendy C. Video demonstrations to enhance learning of mechanics of materials inside and outside the classroom // *Experimental and applied mechanics*, Volume 6. — Springer New York, 2011. — P. 697–702. — ISBN: 9781441997920. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-9792-0_98.
7. Development of experimental and collaborative work skills in the students of mechanics of solids by implementing a low-cost torsionmeter and digital image correlation / Jose M. Benjumea [et al.] // *IEEE Revista iberoamericana de tecnologias del aprendizaje*. — 2023. — feb. — Vol. 18, no. 1. — P. 10–18. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/RITA.2023.3249560>.
8. Blisard Thomas J., Duursema Charles H. A demonstration of the transformation of mechanical energy for student computation // *American journal of physics*. — 1952. — dec. — Vol. 20, no. 9. — P. 559–561. — URL: <http://dx.doi.org/10.1119/1.1933323>.
9. Поваляев О. А., Ханнанов Н. К., Хоменко С. В. Компьютеризированный практикум по механике: методические рекомендации. — Москва : Де'Либри, 2022. — 40 с.
10. Поваляев О. А., Ханнанов Н. К., В. Хоменко С. Механические явления: методические рекомендации. — Москва : Де'Либри, 2020. — 82 с.
11. Попова Е. И., Баландин А. А., Д. Дедюхин Д. Дистанционное образование: современные реалии и перспективы // *Образование и право*. — 2020. — № 7. — С. 203–209.
12. Березин Н. Ю., Петров Н. Ю. Физика в лекционных демонстрациях. Механика: учебное пособие. — Новосибирск : Издательство НГТУ, 2021. — 64 с.
13. Казаков А. В. Планирование эксперимента и измерение физических величин: учебное пособие. — Пермь : Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2014. — 89 с.
14. Федерова Н. Б., Кузнецова Щ. В., Ельцов А. В. Школьный физический эксперимент. Демонстрационные опыты: учебно-методическое пособие. — Рязань : Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина, 2017. — 180 с.
15. Кириков М. В., Шитова А. М. Лаборатория учебного демонстрационного эксперимента по физике: учебное пособие. — Ярославль : Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова, 2009. — 108 с.

Сведения об авторах:

Вера Алексеевна Клопкова — студент магистратуры факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: klopkova.vera@yandex.ru

ORCID iD  0009-0000-3693-7311

Web of Science ResearcherID  JKI-1209-2023

Виктор Вячеславович Шишкарёв — заведующий кафедрой физики и технических дисциплин, кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: svulgpu@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-6340-7620

Web of Science ResearcherID  AAW-8459-2021

Original article
PACS 01.40.-d
OCIS 000.2060
MSC 00A79

Application of a demonstration experiment on mechanics in the lyceum using the equipment of the technology park

V. A. Klopkova , V. V. Shishkarev 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted June 19, 2024
Resubmitted September 26, 2024
Published December 28, 2024

Abstract. The results of testing the system of demonstration experiments in mechanics in the lyceum using the equipment of the technology park are presented. It is shown that if the system of demonstration experiments in mechanics is applied using the demonstration equipment of the technology park, then it is possible to improve the academic performance of students in specialized technological classes of the lyceum in the process of preparing students for the unified state exam in physics.

Keywords: physics, mechanics, demonstration experiment, physical experiment, technology park, lyceum students, equipment, preparation process

References


1. Sarkar Abhijit. Computational demonstration for classroom teaching of classical mechanics // Engineering pedagogy. — Springer Nature Singapore, 2023. — P. 79–99. — ISBN: 9789811980169. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-981-19-8016-9_7.
2. Yu Mingsheng, Mao Chunyu, Sun Xirui. Research on deviation force demonstration device based on 3D printing technology // Proceedings of the 2018 8th International conference on management, education and information (MEICI 2018). — meici-18. — Atlantis Press, 2018. — URL: <http://dx.doi.org/10.2991/MEICI-18.2018.199>.
3. Rovsek Barbara. Simple mechanical experiment on forced oscillations // Physics education. — 2020. — jul. — Vol. 55, no. 5. — P. 055006. — URL: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6552/AB9322>.
4. Frictionless demonstration using fine plastic beads for teaching mechanics / K. Ishii [et al.] // AIP Conference Proceedings. — AIP, 2010. — P. 179–182. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3479863>.
5. Kim Yoonsoo. Learning statics through in-class demonstration, assignment and evaluation // International journal of mechanical engineering education. — 2015. — jan. — Vol. 43, no. 1. — P. 23–37. — URL: <http://dx.doi.org/10.1177/0306419015574643>.


6. Dietzler Michael, Crone Wendy C. Video demonstrations to enhance learning of mechanics of materials inside and outside the classroom // *Experimental and applied mechanics*, Volume 6. — Springer New York, 2011. — P. 697–702. — ISBN: 9781441997920. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-9792-0_98.
7. Development of experimental and collaborative work skills in the students of mechanics of solids by implementing a low-cost torsionmeter and digital image correlation / Jose M. Benjumea [et al.] // *IEEE Revista iberoamericana de tecnologías del aprendizaje*. — 2023. — feb. — Vol. 18, no. 1. — P. 10–18. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/RITA.2023.3249560>.
8. Blisard Thomas J., Duursema Charles H. A demonstration of the transformation of mechanical energy for student computation // *American journal of physics*. — 1952. — dec. — Vol. 20, no. 9. — P. 559–561. — URL: <http://dx.doi.org/10.1119/1.1933323>.
9. Povalyaev O. A., Khannanov N. K., Khomenko S. V. Computerized practical course in mechanics: methodological recommendations. — Moscow : De'Libri, 2022. — 40 p.
10. Povalyaev O. A., Khannanov N. K., V. Khomenko S. Mechanical phenomena: methodological recommendations. — Moscow : De'Libri, 2020. — 82 p.
11. Popova E. I., Balandin A. A., D. Dedyukhin D. Distance education: modern realities and prospects // *Education and law*. — 2020. — no. 7. — P. 203–209.
12. Berezina N. Yu., Petrov N. Yu. Physics in lecture demonstrations. Mechanics: a tutorial. — Novosibirsk : NSTU Publishing House, 2021. — 64 p.
13. Kazakov A. V. Experimental planning and measurement of physical quantities: a tutorial. — Perm : Perm National Research Polytechnic University Publishing House, 2014. — 89 p.
14. Federova N. B., Kuznetsova Shch. V., Eltsov A. V. School physical experiment. Demonstration experiments: a tutorial. — Ryazan : Ryazan State University named after S. A. Yesenin, 2017. — 180 p.
15. Kirikov M. V., Shitova A. M. Laboratory of educational demonstration experiment in physics: a tutorial. — Yaroslavl : P. G. Demidov Yaroslavl State University, 2009. — 108 p.

Information about authors:

Vera Alekseevna Klopko — Master's student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ulyanovsk State Pedagogical University", Ulyanovsk, Russia.


E-mail: klopko.vera@yandex.ru


ORCID iD  0009-0000-3693-7311

Web of Science ResearcherID  JKI-1209-2023

Viktor Vyacheslavovich Shishkarev — Head of the Department of Physics and Technical Disciplines, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ulyanovsk State Pedagogical University", Ulyanovsk, Russia.

E-mail: svulgpu@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-6340-7620

Web of Science ResearcherID  AAW-8459-2021