

Обзорная статья
УДК 378.147.88
DOI: 10.25683/VOLBI.2026.76.1701

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

Artem Dmitrievich Kontarev

2nd year student
 of the Department of General Scientific Disciplines,
 field of training
 09.03.01 — Computer science and engineering,
 Berezniki Branch
 of Perm National Research Polytechnic University
 Berezniki, Russian Federation
 ivan.di.2000@mail.ru

Yuri Vitalievich Lepenyshv

2nd year student
 of the Department of General Scientific Disciplines,
 field of training
 09.03.01 — Computer science and engineering,
 Berezniki Branch
 of Perm National Research Polytechnic University
 Berezniki, Russian Federation
 Lepenyshv@bk.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

Артём Дмитриевич Контарев

студент II курса кафедры общенаучных дисциплин,
 направление подготовки
 09.03.01 — Информатика и вычислительная техника,
 Березниковский филиал
 Пермского национального исследовательского
 политехнического университета
 Березники, Российская Федерация
 ivan.di.2000@mail.ru

Юрий Витальевич Лепёнышев

студент II курса кафедры общенаучных дисциплин,
 направление подготовки
 09.03.01 — Информатика и вычислительная техника,
 Березниковский филиал
 Пермского национального исследовательского
 политехнического университета
 Березники, Российская Федерация
 Lepenyshv@bk.ru

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИ УДАРЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

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

Аннотация. Одной из ключевых лабораторных работ по механике является экспериментальное определение коэффициента восстановления твердых тел. Обзор отечественных и зарубежных источников дает основания полагать, что при ее выполнении достаточно часто используются средства информационных технологий для фиксации процесса проведения лабораторной работы, но не отмечается важность обработки экспериментальных данных с помощью соответствующего программного обеспечения. В условиях цифровизации инженерного образования возникает необходимость использования цифровых инструментов для статистического анализа данных. Это позволяет повысить точность и достоверность результатов лабораторных работ по теории удара.

Авторами на языке Python была разработана программа для обработки экспериментальных данных. Это программное обеспечение позволяет произвести интерактивный ввод данных с проверкой их корректности, математический расчет и вывод результатов с контролем их достоверности. В статье предлагается методика проведения лабораторной работы по теории удара, включающая три этапа: подготовительный, экспериментальный и статистико-интерпретационный.

Для выявления повышения уровня результативности выполнения лабораторной работы было задействовано 197 студентов Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета. На основе разработанных критериев студенты были распределены на три уровня (низкий, средний,

высокий). С помощью χ^2 -критерия Пирсона проведена статистическая обработка данных. Апробация подтвердила эффективность разработанной методики проведения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления при ударе твердых тел.

В статье определены перспективные направления в разработке методики проведения лабораторных работ по теории удара. Методика проведения лабораторной

работы по определению коэффициента восстановления может быть рекомендована преподавателям физики высших технических учебных заведений.

Ключевые слова: механика, физика удара, центральный удар, прямой удар, косой удар, абсолютно неупругий удар, абсолютно упругий удар, коэффициент восстановления, программная обработка данных, высшие технические учебные заведения

Для цитирования: Зенцова И. М., Чайникова Г. Р., Контарев А. Д., Лепёнышев Ю. В. Методика проведения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления при ударе твердых тел // Бизнес. Образование. Право. 2026. № 3(76). С. 399—406. DOI: 10.25683/VOLBI.2026.76.1701.

Original article

THE METHODOLOGY OF LABORATORY WORK TO DETERMINE THE COEFFICIENT OF RESTITUTION UPON IMPACT OF SOLIDS

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

Abstract. One of the key laboratory works in mechanics is the experimental determination of the coefficient of restitution of solids. A review of domestic and foreign sources suggests that information technology tools are often used to record the process of laboratory work, but the importance of processing experimental data using appropriate software is not noted. In the context of digitalization of engineering education, there is a need to use digital tools for statistical data analysis. This makes it possible to increase the accuracy and reliability of the results of laboratory work on the theory of impact.

The authors of the article have developed a program for processing experimental data in Python. This software allows you to perform interactive data entry with verification of their correctness, mathematical calculation and output of results with verification of their reliability. The article suggests a methodology for conducting laboratory work on the theory of impact, which includes three stages: preparatory, experimental, statistical and interpretative.

To identify an increase in the effectiveness of laboratory work, 197 students from the Berezniki branch of Perm National Research Polytechnic University were involved. Based on the developed criteria, the students were divided into three levels (low, medium, and high). Statistical data processing was performed using Pearson's χ^2 -criterion. The approbation confirmed the effectiveness of the developed methodology for conducting laboratory work to determine the coefficient of restitution upon impact of solids.

The article identifies promising areas in the development of methods for conducting laboratory work on the theory of impact. The methodology of laboratory work to determine the coefficient of restitution can be recommended to physics teachers of higher technical educational institutions.

Keywords: mechanics, impact physics, central impact, direct impact, oblique impact, absolutely inelastic impact, absolutely elastic impact, coefficient of restitution, software data processing, higher technical educational institutions

For citation: Zentsova I. M., Chaynikova G. R., Kontarev A. D., Lepenyshchev Yu. V. The methodology of laboratory work to determine the coefficient of restitution upon impact of solids. *Biznes. Obrazovanie. Pravo = Business. Education. Law.* 2026;3(76):399—406. DOI: 10.25683/VOLBI.2026.76.1701.

Введение

В настоящее время в высших технических учебных заведениях при изучении физики одним из элементов качественной подготовки будущих инженеров выступают лабораторные работы. По механике предлагается достаточно много традиционных лабораторных работ, среди которых «Изучение закона динамики вращательного движения с помощью маятника Обербека», «Определение момента инерции диска. Проверка теоремы Штейнера», «Закон сохранения момента импульса» и др. Особый интерес представляет лабораторная работа «Определение коэффициента восстановления при ударе твердых тел». Данная работа позволяет связать микроскопические свойства вещества с таким макроскопическим параметром как коэффициент восстановления.

Актуальность исследования обусловлена важностью разрешения противоречия между потребностью повышения точности и достоверности получаемых результатов лабораторных работ по физике и недостаточной разработкой методики их проведения с использованием программных средств. Исходя из этого противоречия

можно сформулировать проблему: какой должна быть методика проведения лабораторной работы по теории удара, чтобы обеспечить повышение результативности ее выполнения?

Изученность проблемы. В научно-методической литературе представлен теоретический и практический материал для проведения лабораторной работы «Определение коэффициента восстановления при ударе твердых тел».

Среди теоретических исследований вызывают интерес работы А. В. Кочеткова, П. В. Федотова [1], И. Г. Шина, С. Р. Назарова, Н. К. Искандаровой, М. Р. Муминова [2], Ю. З. и Б. Ю. Житниковых [3], В. А. Коронатова [4] и др.

А. В. Кочетков и П. В. Федотов рассматривают теорию удара и на ее основе интерпретируют результаты двух экспериментов. В первом опыте потенциальная энергия сообщается маятнику при выведении его из положения равновесия на некоторый угол, а во втором — при сообщении ему кинетической энергии через удар в точке равновесия. Траектория маятников различна, что объясняется наблюдением при ударе еще одного колебания (волны упругой деформации) [1].

И. Г. Шин, С. Р. Назаров, Н. К. Искандарова, М. Р. Муминов осуществляют расчет коэффициента восстановления скорости дробы с учетом изменения кинетической энергии [2]. Ю. З. и Б. Ю. Житниковы вывели математическую зависимость скорости ударного взаимодействия сферической поверхности тела от величины остаточной деформации ее поверхности [3]. В. А. Коронатов показывает возможность применения теории удара для определения возможности погружения тела в грунт [4].

Особого внимания заслуживают работы, посвященные организации и проведению лабораторных работ по теории удара.

В организации лабораторной работы А. И. Алтухов и Е. Л. Антифеева выделяют два этапа: подготовительный (повторение теоретического материала и тестирование через электронный практикум) и непосредственное выполнение работы [5]. Н. А. Кузорова, О. А. Ивченко, М. А. Прозорова, Г. И. Косенко определяют подготовительный, измерительный и расчетный этапы проведения лабораторной работы [6]. Очевидно, что наиболее важен подготовительный этап, его выделяют все исследователи, но измерительный и расчетный этапы возможно назвать как непосредственное выполнение работы, т. е. противоречий не обнаружено.

А. И. Алтухов и Е. Ю. Михтеева делают акцент на привлечении обучающихся к разработке лабораторного оборудования, что является одним из важных условий формирования инженерного мышления [7].

Некоторые исследователи описывают способы использования информационных технологий для подготовки и проведения лабораторной работы по теории удара.

А. Х. Ципинова и М. А. Шебзухова классифицируют лабораторные работы по уровню применения программного обеспечения: 1) нереализуемые без его использования; 2) не предполагающие его применения; 3) на основе табличных процессоров (например, *MS Excel*) [8].

З. А. Гаврина, А. А. Семенов, В. Я. Савицкий рекомендуют применение электронного учебника с целью повторения теоретического материала и проверки качества его усвоения с помощью выполнения блока тестовых заданий [9].

А. Д. Заикин и И. И. Суханов предлагают использовать видеофрагмент столкновения двух шаров, с помощью которого студенты на табло секундомера определяют время соударения [10]. Ю. Ц. Батомункуев рекомендует применять видеосъемку для ускорения процесса выполнения лабораторной работы [11].

Данная тема также активно рассматривается зарубежными исследователями.

Ман. А. и Миг. А. Гонсалес, Х. Вегас, С. Льямас описывают эксперимент, который можно провести как в учебных лабораториях, так и в домашних условиях, поскольку для его проведения требуются смартфон и шарики из различных материалов [12].

Р. Кросс рассматривает прямой удар в различных инерциальных системах отсчета [13], а также способы измерения коэффициента восстановления при вертикальном отскоке от горизонтальной поверхности [14]. Автором было установлено, что коэффициент восстановления при наклонном отскоке больше, чем при вертикальном, а также зависит от начального вращения шара [14]. Также им было предложено использование видеозаписи для изучения процесса столкновения двух монет под косым углом на гладкой горизонтальной поверхности [15].

Э. Ариас, Дж. Тедеско, С. Кауфманн, М. Рапозо проанализировали столкновения двух одинаковых тел, наклонные упругие соударения тела с неподвижной поверхностью и фронтальные упругие удары свободно падающего тела с горизонтальной поверхностью. Также авторы изучили зависимость коэффициента восстановления от угла столкновения или энергии удара, используя возможности видеозаписи [16].

В. Индрасари, А. С. Буди, В. П. Фадилла разработали установку, включающую *Arduino* в качестве центрального контроллера, фотодиодного и инфракрасного датчиков. Данные датчики могут автоматически фиксировать время и высоту полета прыгающего мяча. Исследование включало пять этапов: анализ, проектирование, разработку, внедрение и оценку. В исследовании задействованы различные типы мячей (для пинг-понга, гольфа и тенниса) и разнообразные подставки (керамический пол, нержавеющая сталь и акрил). Отскок мяча является упругим ударом, т. к. он имеет значение коэффициента восстановления, равное $0 < \varepsilon < 1$. Эксперименты проводились без учета сопротивления воздуха и силы трения [17].

И. Ярдени, Д. Портников, Х. Калман изучали поведение коэффициента восстановления в зависимости от скорости соударяющейся частицы и свойств поверхности и/или частицы, участвующей в столкновении. Эта цель была достигнута путем создания экспериментальной установки для измерения коэффициента восстановления. Чтобы правильно измерить коэффициент восстановления были проведены эксперименты на различных поверхностях и материалах в виде частиц с различными углами столкновения и скоростями. Эти эксперименты проводились в различных средах (воздухе и жидкости). Для точного прогнозирования, после анализа результатов, была предложена корреляция для оценки значения коэффициента восстановления в зависимости от механических свойств частицы и поверхности, угла и скорости столкновения, а также характеристик среды столкновения [18].

Т. Эадхонг и Ч. Сирисатиткул считают, что для изучения столкновения тел студентам можно использовать анализ видеозаписи эксперимента [19].

Таким образом, в научно-методической литературе представлены методические особенности проведения лабораторных работ по теории удара.

Целесообразность разработки темы. Анализ научных публикаций отечественных и зарубежных исследователей показал, что основными направлениями в области методики проведения лабораторных работ по теории удара являются исследование зависимостей характеристик соударения от различных параметров, использование датчиков для снятия показаний в лабораторной работе, фиксация проведения эксперимента через видеосъемку, а также использование тестирования перед непосредственным проведением эксперимента. Среди исследований, посвященных разработке и использованию программного обеспечения для обработки экспериментальных данных следует выделить работу А. Х. Ципиновой, М. А. Шебзуховой [8]. Однако для проведения лабораторной работы по определению коэффициентов восстановления при ударе твердых тел соответствующее программное обеспечение не разработано.

Цель исследования заключается в разработке и апробации методики проведения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления при ударе твердых тел.

Гипотеза исследования состоит в том, что методика проведения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления при ударе твердых тел будет эффективной, если:

- ее структура будет включать три этапа (подготовительный, экспериментальный, статистико-интерпретационный);
- на статистико-интерпретационном этапе проведения лабораторной работы использовать программное обеспечение для обработки экспериментальных данных.

Задачи исследования:

1. Дать характеристику отечественных и зарубежных исследований в области организации лабораторных работ по разделу «Теория удара».
2. Разработать методику проведения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления при ударе твердых тел с использованием программы для обработки экспериментальных данных.
3. Провести апробацию разработанной методики и оценить ее эффективность.

Научная новизна заключается в разработке программы для обработки данных для проведения лабораторной работы «Определение коэффициента восстановления при ударе твердых тел».

Теоретическая значимость исследования состоит в обосновании интеграции программного обеспечения в процесс выполнения лабораторных работ по физике.

Практическая значимость исследования заключается во внедрении программы для обработки экспериментальных данных при проведении лабораторной работы «Определение коэффициента восстановления при ударе твердых тел» в практику преподавания физики в высших технических учебных заведениях.

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. Для обработки экспериментальных данных использованы методы математической статистики.

Результаты исследования. В методике проведения лабораторной работы по определению коэффициентов восстановления при ударе твердых тел выделены следующие этапы:

- 1) подготовительный;
- 2) экспериментальный;
- 3) статистико-интерпретационный.

Для проведения лабораторной работы по изучению коэффициента восстановления в Березниковском филиале Пермского национального исследовательского политехнического университета используется оборудование, включающее набор шайб, планшет с координатной сеткой и ударный механизм (см. рис. 1), а также электронные весы.

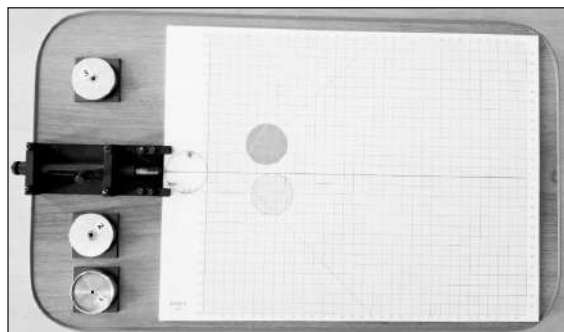


Рис. 1. Лабораторная установка для проведения работы «Определение коэффициента восстановления при ударе твердых тел»

На подготовительном этапе студенты повторяют теоретические сведения по теории удара: понятия центрального удара, прямого удара, косого удара, абсолютно упругого и неупругого удара, а также формулы для расчетов коэффициента восстановления и погрешностей.

На экспериментальном этапе студенты проводят опыты на установке и записывают показания. Следует обратить внимание студентов, что ударный механизм нужно запускать с одинаковым усилием. Также необходимо сделать акцент на том, что показания по оси OX снимаются справа от шайбы, по оси OY — снизу от шайбы.

На статистико-интерпретационном этапе проведения лабораторной работы можно использовать программное обеспечение, которое позволит повысить точность и достоверность вычисления коэффициента восстановления с учетом погрешности.

С целью междисциплинарного взаимодействия и демонстрации интеграции физики и информатики для разработки программ рекомендуется подключать студентов, обучающихся по направлению 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника». Например, студенты II курса Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета А. Д. Контарев и Ю. В. Лепёнышев разработали программу для обработки экспериментальных данных с использованием интегрированной среды разработки *IDLE* (язык программирования *Python*). Для обработки данных использовались формулы для определения погрешностей результатов, предложенные Н. П. Морковцевым и Д. И. Левитом [20]. В ходе разработки программы была выполнена следующая последовательность действий:

- 1) разработка алгоритма и математической модели вычислений;
- 2) написание и отладка программного кода;
- 3) тестирование программы на контрольных примерах и исправление ошибок.

Для визуального оформления программы была использована нейросеть *Gemini*. Был написан промпт с требованием сделать визуальное оформление программы с помощью библиотеки данных *tkinter*.

В результате была разработана программа, интерфейс которой включает две вкладки: прямой центральный удар (см. рис. 2) и косой центральный удар (см. рис. 3).

Разработанное программное обеспечение выполняет следующие функции: интерактивный ввод данных с проверкой их корректности, математический расчет, вывод результатов с контролем их достоверности.

Программа построена по классической архитектуре графических приложений с событийно-ориентированной моделью и разделена на два слоя: интерфейсный (введение данных, а также диалог с пользователем) и логический (расчет коэффициентов).

Для использования разработанной программы необходимо соответствие компьютера следующим условиям:

- 1) технические характеристики: тактовая частота процессора не менее 1,5 ГГц и объем оперативной памяти от 512 МБ;
- 2) операционные системы: *Windows 7/10/11*, *macOS (10.13 и новее)* или дистрибутивы *Linux (Ubuntu, Debian, Fedora и др.)*;
- 3) среда выполнения: *Python* версии 3.8 и новее (с библиотекой данных *tkinter*).

Программа установлена на компьютерах в лаборатории физики, студенты могут ее скопировать для использования в домашних условиях.

Прямой центральный удар тел Косой центральный удар тел

Введите исходные данные:

m_1 : г m_2 : г

x_{01} : мм x_{02} : мм

Введите дополнительные параметры:

t_p : n :

Введите значения 6 экспериментов, мм:

x_0 : 1 2 3 4 5 6

x_1 : 1 2 3 4 5 6

x_2 : 1 2 3 4 5 6

РАССЧИТАТЬ ВСЕ ПАРАМЕТРЫ

Результаты вычислений:

$\langle x_0 \rangle = -$ $\langle x_1 \rangle = -$ $\langle x_2 \rangle = -$

$s_0 = -$ $s_1 = -$ $s_2 = -$

$k_p = -$ $k_e = -$ $\epsilon = -$

$\Delta S = -$ $\Delta p = -$ $\Delta k_e = -$

Рис. 2. Программа для обработки данных (разработка А. Д. Контарева и Ю. В. Лепёнышева), случай прямого центрального удара

Прямой центральный удар тел Косой центральный удар тел

Введите начальные координаты (мм):

x_{01} : y_{01} :

x_{02} : y_{02} :

Введите координаты после удара (мм) - 6 экспериментов:

Для каждой координаты введите 6 значений (по одному на эксперимент):

x_1 : 1 2 3 4 5 6

y_1 : 1 2 3 4 5 6

x_2 : 1 2 3 4 5 6

y_2 : 1 2 3 4 5 6

x_0 : 1 2 3 4 5 6

РАССЧИТАТЬ ВСЕ ПАРАМЕТРЫ

Результаты вычислений:

$\langle x_1 \rangle = -$ $\langle y_1 \rangle = -$ $\langle x_2 \rangle = -$ $\langle y_2 \rangle = -$ $\langle x_0 \rangle = -$

$s_0 = -$ $s_1 = -$ $s_2 = -$

$k_p = -$ $k_e = -$ $\epsilon = -$

Рис. 3. Программа для обработки данных (разработка А. Д. Контарева и Ю. В. Лепёнышева), случай косого центрального удара

После проведения обработки данных и интерпретации полученных результатов студенты должны защитить выполненную лабораторную работу, ответив на вопросы преподавателя.

Апробация методики проведения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления при ударе твердых тел была проведена на 197 студентах Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, изучающих курс физики (направления подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 18.03.01 «Химическая технология», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 08.03.01 «Строительство», 21.05.04 «Горное дело»).

Из всех студентов было сформировано две группы: контрольная (98 студентов) и экспериментальная (99 студентов). В этих группах было достигнуто приближенное равенство по результативности выполнения лабораторных работ. В контрольной группе лабораторная работа проводилась традиционным способом, в экспериментальной — по выделенным этапам с использованием программы для обработки данных.

После проведения лабораторной работы была осуществлена статистическая обработка данных.

В качестве критериев оценки результативности выполнения лабораторной работы по теории удара выделены следующие знания и умения:

- Демонстрирует знание основных понятий по теории удара.
- Демонстрирует знание формул для расчета коэффициента восстановления и погрешностей.
- Демонстрирует понимание физического смысла коэффициента восстановления для анализа процесса соударения.
- Умеет применять формулы для расчета коэффициента восстановления.
- Умеет правильно рассчитывать погрешности и учитывает их при записи результата лабораторной работы по теории удара.
- Умеет самостоятельно использовать программу по обработке данных для случаев прямого и косого центрального удара.
- Умеет аргументированно обосновать полученные результаты лабораторной работы по теории удара.
- Умеет полно и правильно ответить на вопросы преподавателя по содержанию лабораторной работы по теории удара.

Оценка производится в баллах от 0 до 3. Показатели для выставления баллов:

- 0 баллов: знания по теории удара не демонстрируются, понимание физического смысла отсутствует, экспериментальные умения не сформированы, отсутствие умения работы с программой для обработки данных, на вопросы преподавателя ответы не получены;
- 1 балл: демонстрируются отдельные фрагменты знаний по теории удара, экспериментальные умения сформированы частично, работа с программой для обработки данных осуществляется под руководством преподавателя, на его вопросы ответы получены частично;
- 2 балла: сформированы базовые знания по теории удара, основные экспериментальные умения сформированы, работа с программой для обработки данных осуществляется самостоятельно, но имеются затруднения в объяснении полученных результатов, на вопросы преподавателя ответы получены после некоторых уточнений;
- 3 балла: сформированы глубокие знания по теории удара, экспериментальные умения сформированы, работа с программой для обработки данных осуществляется самостоятельно, подробные и правильные ответы на вопросы преподавателя.

Студенты каждой группы были распределены по уровням результативности выполнения лабораторных работ:

- низкий (от 0 до 8 баллов);
- средний (от 9 до 16 баллов);
- высокий (от 16 до 24 баллов).

Достоверность результатов работы оценивалась через χ^2 -критерий Пирсона.

Нулевая гипотеза: в экспериментальной и контрольной группах отсутствуют статистические различия между эмпирическим распределением уровней результативности выполнения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления.

Альтернативная гипотеза: в экспериментальной и контрольной группах имеются статистические различия между эмпирическим распределением уровней результативности выполнения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления.

Результаты экспериментальной и контрольной групп после проведенной апробации приведены в таблице.

Распределение уровней результативности выполнения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления

Тип группы	Уровни результативности выполнения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления			Общее количество студентов
	Низкий	Средний	Высокий	
Контрольная	21	47	30	98
Экспериментальная	8	42	49	99

На основании данных (см. табл.) был произведен расчет эмпирического значения χ^2 -критерия Пирсона: $\chi^2_{\text{эмп}} = 10,673$.

Из статистических таблиц было определено критическое значение χ^2 -критерия Пирсона: $\chi^2_{0,05} = 5,991$.

На основании сравнения критического и эмпирического значений χ^2 -критерия Пирсона ($\chi^2_{0,05} < \chi^2_{\text{эмп}}$), нулевая гипотеза отвергается на уровне значимости 5 %. Принимается альтернативная гипотеза о наличии статистических разли-

чий в уровне результативности выполнения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления в экспериментальной и контрольной группах.

Апробация подтвердила эффективность разработанной методики проведения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления при ударе твердых тел.

Заключение, выводы

Таким образом, в статье представлена методика проведения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления при ударе твердых тел в высшем техническом учебном заведении, состоящая из трех этапов: подготовительного, экспериментального и статистико-интерпретационного.

На подготовительном этапе обучающиеся актуализируют теоретические сведения по теории удара. На экспериментальном этапе студенты снимают показания с установки. На статистико-интерпретационном этапе происходит обработка и анализ полученных данных, а также оценка достоверности полученного результата и защита лабораторной работы.

Эффективность разработанной методики проведения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления при ударе твердых тел подтверждена результатами апробации.

Интеграция разработанного программного обеспечения в процесс выполнения лабораторных работ по физике позволит повысить уровень результативности выполнения лабораторной работы по определению коэффициента восстановления.

Среди перспективных направлений в разработке методики проведения лабораторных работ по теории удара можно выделить дальнейшее усовершенствование программного обеспечения, разработку цифровых двойников для методической поддержки самостоятельной работы студентов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кочетков А. В., Федотов П. В. Некоторые вопросы теории удара // Науковедение. 2013. № 5(18). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/110tvn513.pdf>.
2. Шин И. Г., Назаров С. Р., Искандарова Н. К., Муминов М. Р. Расчет коэффициента восстановления скорости дробы при дробеструйной упрочняющей обработке // Вестник машиностроения. 2024. Т. 103. № 11. С. 936—940. DOI: 10.36652/0042-4633-2024-103-11-936-940.
3. Житников Ю. З., Житников Б. Ю. Обоснование зависимости скорости ударного взаимодействия сферической поверхности тела, совершающего вращение о неподвижную плоскость, от глубины остаточной деформации ее поверхности в ходе упрочнения металла путем холодной пластической деформации // Упрочняющие технологии и покрытия. 2023. Т. 19. № 8. С. 353—355. DOI: 10.36652/1813-1336-2023-19-8-353-355.
4. Коронатов В. А. Дополнения к элементарной теории проникания твердого тела в грунтовые среды при однократном и многократном ударе // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2(50). С. 42—50. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-2-42-50.
5. Алтухов А. И., Антифеева Е. Л. Методическое обеспечение подготовки и проведения лабораторных работ по физике // Физическое образование в вузах. 2024. Т. 30. № 4. С. 167—175.
6. Кузовова Н. А., Ивченко О. А., Прозорова М. А., Косенко Г. И. Применение информационных технологий в лабораторном практикуме по физике // Наука и военная безопасность. 2024. № 4(39). С. 109—111.
7. Алтухов А. И., Михтеева Е. Ю. К вопросу комплексного подхода при разработке лабораторного практикума по физике // Физическое образование в вузах. 2025. Т. 31. № 4. С. 97—106.
8. Ципинова А. Х., Шебухова М. А. Особенности проведения лабораторного практикума по физике с использованием цифрового оборудования в условиях цифровой трансформации вузов // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Педагогика. 2023. № 2. С. 30—42. DOI: 10.18384/2310-7219-2023-2-30-42.
9. Гаврина З. А., Семенов А. А., Савицкий В. Я. Лабораторный эксперимент по физике — основа формирования знаний специалиста // Военное обозрение. 2024. № 1(19). С. 9—15.
10. Заикин А. Д., Суханов И. И. Индивидуализированные компьютерные симуляции лабораторных работ по физике // Сибирский физический журнал. 2021. Т. 16. № 2. С. 94—104. DOI: 10.25205/2541-9447-2021-16-2-94-104.
11. Батомункуев Ю. Ц. Апробация усовершенствованных лабораторных работ курса общей физики // Актуальные вопросы образования. Формирование механизмов системы высшего образования в России : сб. материалов Нац. науч.-метод. конф. с междунар. участием : в 3 ч. Новосибирск : СГУГиТ, 2023. Ч. 3. С. 137—139.

12. González Man. Á., González Mig. Á., Vegas J., Llamas C. Measuring the coefficient of restitution and more: a simple experiment to promote students' critical thinking and autonomous work // *Physics Education*. 2017. Vol. 52. No. 5. Art. 055002. DOI: 10.1088/1361-6552/aa71ea.
13. Cross R. Collisions observed in two different reference frames // *Physics Education*. 2026. Vol. 61. No. 4. Art. 045014. DOI: 10.1088/1361-6552/ae7888.
14. Cross R. Coefficient of restitution for an obliquely bouncing ball // *Physics Education*. 2020. Vol. 56. No. 1. Art. 015004. DOI: 10.1088/1361-6552/abbcdb.
15. Cross R. Collision of two coins on a horizontal surface // *Physics Education*. 2021. Vol. 57. No. 1. Art. 015009. DOI: 10.1088/1361-6552/ac342c.
16. Arias E., Tedesco J., Kaufmann S., Raposo M. Estudo experimental do coeficiente de restituição elástica em colisões utilizando video-análise // *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2023. Vol. 45. Art. e20230192. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0192.
17. Indrasari W., Budi A. S., Fadilla D. P. The Development of Educational Aids for Restitution Coefficient Experiment Using Microcontroller // *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*. 2022. Vol. 8. No. 1. Pp. 95—104. DOI: 10.21009/1.08109.
18. Yardeny I., Portnikov D., Kalman H. Experimental investigation of the coefficient of restitution of particles colliding with surfaces in air and water // *Advanced Powder Technology*. 2020. Vol. 31. Iss. 9. Pp. 3747—3759. DOI: 10.1016/j.appt.2020.07.018.
19. Eadkhong T., Sirisathitkul C., Danworaphong S. Video analysis of one-dimensional motion and collision for distance learning laboratory // *Physics Education*. 2022. Vol. 57. No. 5. Art. 055006. DOI: 10.1088/1361-6552/ac72e4.
20. Морковцев Н. П., Левит Д. И. Моделирование, автоматизация и математическая обработка результатов физического эксперимента // *Труды Братского государственного университета* — 2024. Серия: Естественные и инженерные науки. Братск, 2024. С. 107—110.

REFERENCES

1. Kochetkov A. V., Fedotov P. V. Some questions of the theory of blow. *Naukovedenie*. 2013;5(18):108. (In Russ.) URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/110tvn513.pdf>.
2. Shin I. G., Nazarov S. R., Iskandarova N. K., Muminov M. R. Calculation of the coefficient of recovery of the shot speed during shot-peening hardening treatment. *Vestnik mashinostroeniya*. 2024;103(11):936—940. (In Russ.) DOI: 10.36652/0042-4633-2024-103-11-936-940.
3. Zhitnikov Y. Z., Zhitnikov B. Yu. Substantiation of dependence of impact interaction rate of spherical surface of body rotating on fixed plane on depth of residual deformation of its surface during hardening of metal by cold plastic deformation. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Strengthening technologies and coatings*. 2023;19(8):353—355. (In Russ.) DOI: 10.36652/1813-1336-2023-19-8-353-355.
4. Koronotov V. A. Supplements to the elementary theory of solid body penetration into ground media with a single and multiple impact. *Sistemy. Metody. Tekhnologii = Systems. Methods. Technologies*. 2021;2(50):42—50. (In Russ.) DOI: 10.18324/2077-5415-2021-2-42-50.
5. Altukhov A. I., Antifeeva E. L. Features of preparation and conduct of laboratory work in physics. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh = Physics in higher education*. 2024;30(4):167—175. (In Russ.)
6. Kuzovova N. A., Ivchenko O. A., Prozorova M. A., Kosenko G. I. The use of information technology in a physics laboratory workshop. *Nauka i voennaya bezopasnost'*. 2024;4(39):109—111. (In Russ.)
7. Altuhov A., Mihteeva E. On the issue of an integrated approach to developing a physics laboratory. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh = Physics in higher education*. 2025;31(4):97—106. (In Russ.)
8. Tsipinova A., Shebzukhova M. Peculiarities of the laboratory practice in physics using digital equipment in the context of digital transformation in higher education institutions. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Pedagogika = Bulletin of Moscow Region State University. Series: Pedagogics*. 2023;2:30—42. (In Russ.) DOI: 10.18384/2310-7219-2023-2-30-42.
9. Gavrina Z. A., Semenov A. A., Savickii B. J. Laboratory experiment in physics as the basis for the formation of specialist's knowledge. *Voennoe obozrenie*. 2024;1(19):9—15. (In Russ.)
10. Zaikin A. D., Suhanov I. I. The Physics Laboratory Works – Individualized Computer Simulations. *Sibirskii fizicheskii zhurnal = Siberian Journal of Physics*. 2021;16(2):94—104. (In Russ.) DOI: 10.25205/2541-9447-2021-16-2-94-104.
11. Batomunkuev Y. Ts. Approbation of laboratory works of the course of physics. *Aktual'nye voprosy obrazovaniya. Formirovanie mekhanizmov sistemy vysshego obrazovaniya v Rossii = Current issues of education. Formation of mechanisms of the higher education system in Russia. Collection of materials of the National scientific and methodological conference with international participation*. Novosibirsk, Siberian State University of Geosystems and Technologies publ., 2023;3:137—139. (In Russ.)
12. González Man. Á., González Mig. Á., Vegas J., Llamas C. Measuring the coefficient of restitution and more: a simple experiment to promote students' critical thinking and autonomous work. *Physics Education*. 2017;52(5):055002. DOI: 10.1088/1361-6552/aa71ea.
13. Cross R. Collisions observed in two different reference frames. *Physics Education*. 2026;61(4):045014. DOI: 10.1088/1361-6552/ae7888.
14. Cross R. Coefficient of restitution for an obliquely bouncing ball. *Physics Education*. 2020;56(1):015004. DOI: 10.1088/1361-6552/abbcdb.
15. Cross R. Collision of two coins on a horizontal surface. *Physics Education*. 2021;57(1):015009. DOI: 10.1088/1361-6552/ac342c.
16. Arias E., Tedesco J., Kaufmann S., Raposo M. Experimental study of the coefficient of elastic restitution in collisions using video-analysis. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2023;45:e20230192. (In Portuguese) DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0192.

17. Indrasari W., Budi A. S., Fadilla D. P. The Development of Educational Aids for Restitution Coefficient Experiment Using Microcontroller. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*. 2022;8(1):95—104. DOI: 10.21009/1.08109.
18. Yardeny I., Portnikov D., Kalman H. Experimental investigation of the coefficient of restitution of particles colliding with surfaces in air and water. *Advanced Powder Technology*. 2020;31(9):3747—3759. DOI: 10.1016/j.appt.2020.07.018.
19. Eadkhong T., Sirisathitkul C., Danworaphong S. Video analysis of one-dimensional motion and collision for distance learning laboratory. *Physics Education*. 2022;57(5):055006. DOI: 10.1088/1361-6552/ac72e4.
20. Morkovtsev N. P., Levit D. I. Modeling, automation and mathematical processing of the results of a physical experiment. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta — 2024. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki = Proceedings of the Bratsk State University - 2024. Series: Natural and Engineering Sciences*. Bratsk, 2024:107—110. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 25.06.2026; одобрена после рецензирования 09.07.2026; принята к публикации 13.07.2026.
The article was submitted 25.06.2026; approved after reviewing 09.07.2026; accepted for publication 13.07.2026.