

Таблица 2. Расчет для одиночного стержневого молниеотвода

Тип молниеотвода	Инструкция по молниезащите		
	СО	РД, тип зоны защиты	
Одиночный стержневой	$p=0,9$	Б ( $p=0,95$ )	А ( $p=0,995$ )
Радиус горизонтального сечения $r_x$ на высоте $h_x$ , м	$5,44 > 5,41$	$7,54 > 5,41$	$4,88 < 5,41$

На основании проведенного анализа требований нормативных документов по молниезащите РД 34.21.122-87 и СО-153-34.21.122-2003 можно сделать следующие выводы.

Анализ полученных результатов для молниеотводов показывает, что расчеты, выполненные по инструкции СО, получаются более жесткими. Для обеспечения одинаковых значений радиусов горизонтального сечения высоту молниеотводов, рассчитанных по СО, необходимо увеличивать, что обеспечит большую надежность защиты, по сравнению с надежностью защиты, обеспечиваемой при расчете по РД, но будет связано с увеличением материальных и финансовых затрат.

Прежде чем ставить вопрос о переходе от использования инструкции РД 34.21.122-87 к использованию инструкции СО-153-34.21.122-2003 необходимо полностью завершить разработку последней, обеспечив ее необходимыми справочными материалами.

Работа по завершению разработки инструкции СО-153-34.21.122-2003 предстоит еще большая, ее целесообразно заканчивать коллективу МЭИ, который разработал опубликованную часть этой инструкции, а, следовательно, имеет необходимый задел; остается только профинансировать такую работу, например РАО «ЕЭС России».

В конечном итоге необходимо в ближайшее время скорректировать указанные недостатки и подготовить новую инструкцию по молниезащите с учетом последних нормативных и руководящих документов.

### Литература

1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.03.2018).

2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО-153-34.21.122-2003 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.03.2018).

3. Воронин С.В., Скрипник И.Л. Современное состояние нормативных документов в области молниезащиты // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сб. материалов V Всерос. науч.-практ. конф. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2018. С. 92–96.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ EXCEL НА ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ ПО ФИЗИКЕ (НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ РАЗДЕЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»)

**И.Л. Данилов, кандидат физико-математических наук, доцент;**

**Н.И. Егорова, кандидат физико-математических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены вопросы применения интерактивных технологий обучения на основе среды программирования EXCEL при проведении лабораторно-практических занятий

по физике по разделу «Электричество». Представлены примеры тестовых вопросов, задач и виртуальных лабораторных заданий по темам «Электростатика» и «Электрический ток». Приведены основные принципы построения, разработанных авторами, системы интерактивного тестирования знаний и виртуальных лабораторных установок.

*Ключевые слова:* электростатика, электростатическое поле, теорема Гаусса для электрических полей, электрический ток, характеристики электрического тока, виртуальная лабораторная установка

## EXCEL INFORMATION MEDIA USING AT LABORATORY-PRACTICAL CLASSES ON PHYSICS (ON EXAMPLE OF THE SECTION «ELECTRICITY» STUDYING)

I.L. Danilov; N.I. Egorova. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The questions of application of interactive learning technologies on the basis of the EXCEL programming environment in conducting laboratory and practical exercises in physics under the section «Electricity» are considered. Examples of test questions, tasks and virtual laboratory works on the topics «Electrostatics» and «Electric current» are presented. The basic principles of construction, developed by the authors, the system of interactive testing of knowledge and virtual laboratory facilities are presented.

*Keywords:* electrostatics, electrostatic field, Gauss's theorem for electric fields, electric current, electric current characteristics, virtual laboratory installation

Изучение вопросов, входящих в раздел «Электричество» курса физики в техническом вузе, часто вызывает затруднения в связи с тем, что проведение занятий по темам «Электростатика» и «Электрический ток» происходит во втором или третьем семестре обучения. К этому моменту обучающиеся еще не овладели, а зачастую просто еще не изучали, необходимые для успешного усвоения материала вопросы высшей математики. Кроме того впервые в этих темах необходимо уметь применять перекрестные знания из других разделов физики, прежде всего, «Механики» и «Молекулярной физики».

Чтобы облегчить процесс усвоения и запоминания учебного материала в таких условиях необходимо, прежде всего, повысить интерес восприятия и придать наглядность применяемому математическому аппарату путем разъяснения физического смысла производимых операций [1–3]. Методы дифференциального и интегрального исчисления при расчетах напряженности электрического поля и разности потенциалов, построение силовых линий на основе аналитической геометрии, применение теоремы Крамера для расчета разветвленных электрических цепей уверенно способствуют пониманию как практической (физической) сущности изучаемых объектов, так и теоретических (математических) методов обработки результатов измерений.

В целях обеспечения комплексного подхода, позволяющего повысить усвоение теоретического лекционного материала, развить навыки решения практических задач по физике и применения методик лабораторных измерений и обработки результатов измерений на кафедре физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности разработана методика проведения лабораторно-практического занятия по физике [4].

В комплекс предлагаемых заданий входят.

1. Тестовые вопросы с уровнем усвоения материала: «Иметь представление» и «Знать», содержание которых не требует креативных действий. Например, по теме «Электростатика» такими вопросами являются:

– **Силовые линии электростатического поля ...**

(1) – начинаются на положительных, а заканчиваются на отрицательных зарядах;

(2) – начинаются на отрицательных, а заканчиваются на положительных зарядах;

- (3) – всегда замкнутые;
- (4) – не имеют начала и конца;
- (5) – правильного ответа здесь нет.

– **Емкость уединенного проводника – определяется по формуле ...**

- (1) –  $C = q \cdot \varphi$ , где  $q$  – заряд проводника;  $\varphi$  – потенциал проводника;
- (2) –  $C = q / \varphi$ ;
- (3) –  $C = q^2 / \varphi$ ;
- (4) –  $C = q / \varphi^2$ ;
- (5) – правильного ответа здесь нет.

2. Тестовые вопросы с уровнем усвоения материала: «Понимать» и «Уметь применять», для ответа на которые требуется совершение креативных действий. Например, по теме «Электростатика» такими вопросами являются:

– **Бесконечно протяженная заряженная нить имеет линейную плотность заряда 10 мкКл/м. Разность потенциалов электрического поля нити в вакууме между точками на расстоянии 1 м и 2 м от нее равна...**

Считать, что  $k=1/4\pi\epsilon_0=9 \cdot 10^9$  м/Ф.

- (1) – 90 кВ;
- (2) – 360 кВ;
- (3) – 180 кВ;
- (4) – 180 В;
- (5) – 90 В.

– **Точечный заряд, равный 10 мКл, переместился из точки с потенциалом 20 В в точку с потенциалом 10 В. Чему равна работа силы электрического поля? Ответ привести в мДж.**

В последнем примере задачи обучающийся должен ввести в программу тестирования не номер правильного ответа, а число – в указанных единицах измерения. Такой подход полностью исключает вариант ответа в стиле «угадывания».

Заметим, что проверка знаний происходит в среде EXCEL по авторской программе, разработанной на кафедре доцентом Н.И. Егоровой. Установка программы тестирования на ПК не требует никаких специальных действий, кроме входящих в стандартный набор среды EXCEL.

Общее число вопросов теста равно десяти, только четыре из которых являются элементарными. Для допуска к виртуальной лабораторной работе нужно набрать не менее пяти баллов. Результаты тестирования выводятся на экран ПК сразу после ответа на последний вопрос или окончания лимита времени, заданного преподавателем. Обучающийся может увидеть, где были совершены ошибки, обсудить их с преподавателем. В случае получения неудовлетворительной оценки тестирование производится повторно. Повторное тестирование для повышения оценки проводится в конце занятия в случае наличия учебного времени.

3. Виртуальное лабораторное задание по электростатике.

Общий вид главной страницы виртуального лабораторного комплекса по электростатике представлен на рис. 1. Обучающийся вводит номер варианта и выполняет набор заданий по указанию преподавателя. В процессе работы можно обращаться к сведениям из теории, на основе которых разработаны задания.

На рис. 2 представлен вид одного из заданий по расчету электрического поля двух заряженных плоскостей.

На рис. 3 представлен вид задания по изучению движения заряженных частиц в электростатическом поле.

**РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ.**  
**Исследование электростатического поля заряженных объектов.**  
**Изучение движения заряженной частицы в однородном**  
**электрическом поле.**

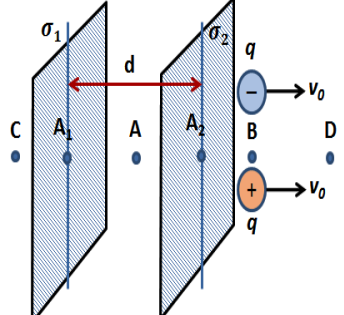
Введите номер варианта

Рис. 1. Общий вид начальной страницы заданий по электростатике

РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

**Исследование электростатического поля**  
**двух бесконечно протяжённых заряженных плоскостей**

**Цели работы:**  
 1. определение характеристик электростатического поля двух заряженных плоскостей;  
 2. изучение движения заряженной частицы в электрическом поле.



Константы и начальные условия	
$\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м	$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
$k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$ м/Ф	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
$AC = AB = d$	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
$AA_1 = AA_2 = d/2$	$m_n = 1,68 \cdot 10^{-27}$ кг

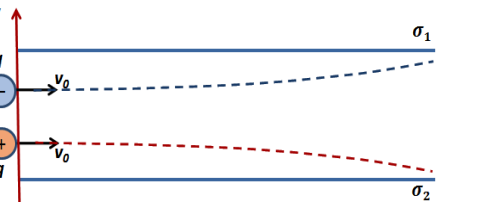
Условия задачи						
$\sigma_1$ , нКл/м <sup>2</sup>	$\sigma_2$ , нКл/м <sup>2</sup>	d, м	$\epsilon$	q	m	$v_0$ , м/с
5,5	1,2	0,04	9,6	-e	$m_e$	60

Рис. 2. Пример задания для изучения электрического поля двух плоскостей

РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

**Исследование электростатического поля**  
**двух бесконечно протяжённых заряженных плоскостей**

**Цели работы:**  
 определение характеристик электростатического поля двух заряженных плоскостей (часть 1);  
 изучение движения заряженной частицы в однородном электрическом поле (часть 2).



Константы и начальные условия	
$\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м	$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
$\epsilon = 1$	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
$k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$ м/Ф	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
$\sigma_1 = \sigma; \sigma_2 = -\sigma$	$m_n = 1,68 \cdot 10^{-27}$ кг

Условия задачи		
$\sigma$ , нКл/м <sup>2</sup>	q	m
5,3	-e	$m_e$

Рис. 3. Пример задания для изучения движения заряженной частицы в электрическом поле двух заряженных плоскостей

На рис. 4 представлен вид задания для изучения электрического поля заряженной нити.

РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

Начало

Исследование электростатического поля  
бесконечно протяжённой заряженной нити (провода)

Цели работы:  
определение характеристик электростатического поля заряженной нити.

Константы и начальные условия	
$\epsilon_0 \approx 9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м	$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
$k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$ м/Ф	$m_p = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
AB = BC = CD = 1 см	$m_e = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
DK = KM = MN = 1 см	$m_n = 1,68 \cdot 10^{-27}$ кг

Условия задачи					
$\tau$ , нКл/м	AB, см	$\epsilon$	q	m	$v_0$ , м/с
79	10,2	9,6	-e	$m_e$	60

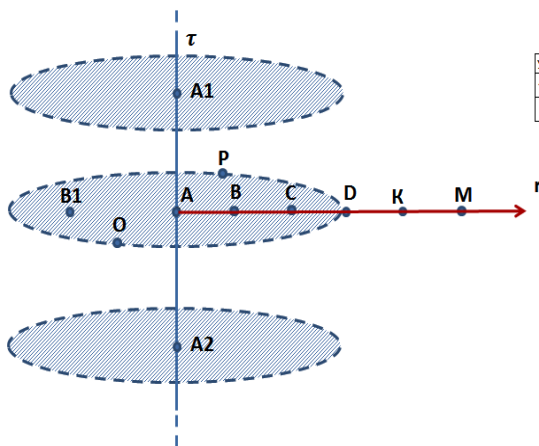


Рис. 4. Пример задания для изучения электрического поля заряженной нити

В указанных в задании точках (рис. 2, 4) рассчитывается модуль напряженности электрического поля, указывается направление вектора напряженности, определяется разность потенциалов между заданными точками, строится график распределения потенциала вдоль заданного направления.

Расчет погрешностей косвенных измерений проводится, исходя из погрешностей заданных параметров (например поверхностная или линейная плотность заряда) и линейных измерений.

В задании на рис. 5 определяется удельный заряд частицы, исходя из полученных графических зависимостей. Полученное значение удельного заряда сравнивается с известным из теории с учетом погрешностей измерений.

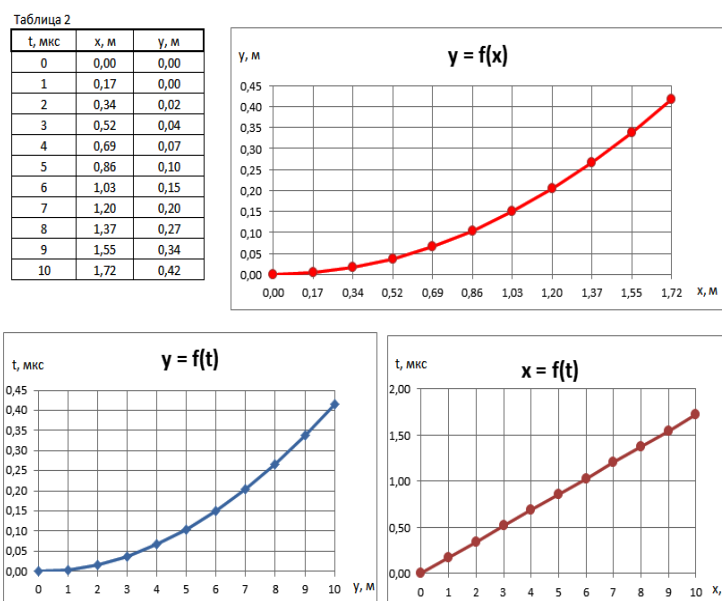


Рис. 5. Пример графических зависимостей координат от времени и траектории частицы, используемых для расчета удельного заряда частицы

Наглядность и быстрота обработки данных измерений в среде EXCEL повышают интерес обучающихся к занятию, позволяют сохранить концентрацию внимания в течение всего занятия. По отзывам самих курсантов (студентов) они удивляются «как быстро» проходят шесть часов учебных занятий в виртуальной лаборатории физики.

Для проведения занятия по теме «Электрический ток» доцентом Н.И. Егоровой разработана в среде EXCEL виртуальная модель моста Уинстона, с помощью которого можно измерять электрическое сопротивление проводников.

Общий вид виртуальной установки показан на рис. 6. Таблицы для ввода результатов прямых и косвенных измерений приведены на рис. 7.

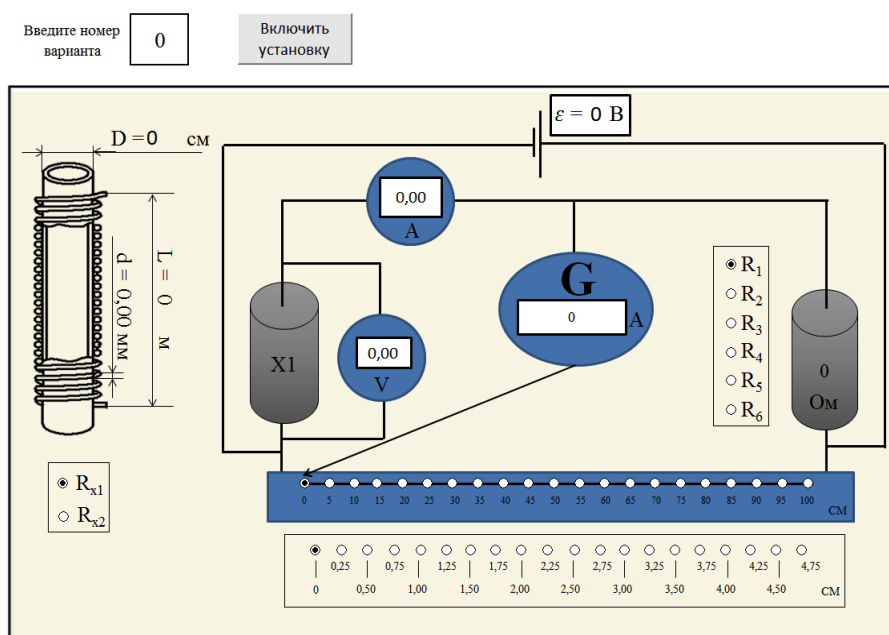


Рис. 6. Виртуальная модель моста Уинстона в среде EXCEL

Начальные данные Проволока № 1			Начальные данные Проволока № 2		
$L_1, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$d_1, \text{ м}$	$L_2, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	$d_2, \text{ м}$

Определение неизвестного сопротивления $R_{x1}$											
	$R, \text{ Ом}$	$l_1, \text{ м}$	$l_2, \text{ м}$	$R'_{x1}, \text{ Ом}$	$I_1, \text{ А}$	$U_1, \text{ В}$	$R_{x1}, \text{ Ом}$	$R_A, \text{ Ом}$	$E_1, \text{ В/м}$	$j_1, \text{ А/м}^2$	$\langle u \rangle_1, \text{ м/с}$
$R_1$											
$R_2$											
$R_3$											
$R_4$											
$R_5$											
$R_6$											

Определение неизвестного сопротивления $R_{x2}$											
	$R, \text{ Ом}$	$l_1, \text{ м}$	$l_2, \text{ м}$	$R_{x2}, \text{ Ом}$	$I_2, \text{ А}$	$U_2, \text{ В}$	$R_{x2}, \text{ Ом}$	$R_A, \text{ Ом}$	$E_2, \text{ В/м}$	$j_2, \text{ А/м}^2$	$\langle u \rangle_2, \text{ м/с}$
$R_1$											
$R_2$											
$R_3$											
$R_4$											
$R_5$											
$R_6$											

Рис. 7. Таблица для ввода результатов измерений в модели моста Уинстона

В заключении отметим, что на кафедре физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России разработаны тестовые задания по всем темам курса общей физики – от механики до ядерной физики. Тесты планируется загрузить в базу для проверки знаний в среде EXCEL. На кафедре кроме описанных в данной статье созданы виртуальные модели по темам «Колесания и волны», «Волновая оптика», «Тепловое излучение», «Молекулярная физика» [5–9].

В настоящее время продолжается работа по созданию виртуальных лабораторных установок по другим разделам курса физики. Авторы приглашают всех заинтересованных лиц и организации к плодотворному сотрудничеству.

### **Литература**

1. Теплотехнические этюды с Excel, Mathcad и Интернет / под общ. ред. В.Ф. Очкова. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2015. 336 с.
2. Майер Р.В. Решение физических задач в электронных таблицах Excel: учеб. пособие. Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2016. 148 с.
3. Данилов И.Л. Изучение основных физических характеристик ионизирующих излучений методом совмещения натурального и виртуального экспериментов // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2014. № 3 (11). С. 78–87.
4. Данилов И.Л., Егорова Н.И. Лабораторный практикум по физике на основе моделирования в среде MS Excel // Интернет и современное общество: труды XX Междунар. объедин. науч. конф. СПб.: Ун-т ИТМО, 2017. С. 104–113.
5. Автоматизация изучения характеристик молекул и газов на основе классической статистики Максвелла-Больцмана: свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016615696 от 27 мая 2016 г. / И.Л. Данилов [и др.]. URL: <http://www.reestr.minsvtaz.ru> (дата обращения: 10.05.2018).
6. Автоматизация изучения законов и характеристик теплового излучения на основе построения функции Кирхгофа: свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016616688 от 17 июля 2016 г. / И.Л. Данилов [и др.]. URL: <http://www.reestr.minsvtaz.ru> (дата обращения: 10.05.2018).
7. Данилов И.Л., Егорова Н.И. Автоматизация изучения явлений волновой оптики на примере дифракции на щели: свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017661810 от 20 окт. 2017 г. URL: <http://www.reestr.minsvtaz.ru> (дата обращения: 10.05.2018).
8. Данилов И.Л., Егорова Н.И. Автоматизация изучения явлений волновой оптики на примере дифракции на дифракционной решетке: свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017662291 от 2 нояб. 2017 г. URL: <http://www.reestr.minsvtaz.ru> (дата обращения: 10.05.2018).
9. Данилов И.Л., Егорова Н.И. Автоматизация изучения явлений волновой оптики на примере интерференции в виде колец Ньютона: свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017662290 от 2 нояб. 2017 г. URL: <http://www.reestr.minsvtaz.ru> (дата обращения: 10.05.2018).

## **РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ELCUT 6.3**

**Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент;**

**А.С. Константинова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проведен сравнительный анализ методов определения предела огнестойкости строительных конструкций путем натуральных огневых испытаний и расчетным путем.