

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Техника и электрофизика высоких напряжений**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Спецвопросы физики молнии и молниезащиты наземных объектов и  
летательных аппаратов**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Темников А.Г.
	Идентификатор	Ra0abb123-TemnikovAG-2d4db00

(подпись)

А.Г.  
Темников

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лебедева Н.А.
	Идентификатор	R75716a03-LebedevaNA-9930664

(подпись)

Н.А.  
Лебедева

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Темников А.Г.
	Идентификатор	Ra0abb123-TemnikovAG-2d4db00

(подпись)

А.Г.  
Темников

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен принимать участие в проведении научных исследований в области объектов профессиональной деятельности (техники и электрофизики высоких напряжений)  
ИД-2 Демонстрирует понимание научных проблем в области физики молнии и молниезащиты и путей их решения

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита лабораторной работы №1 (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы №2 (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2 (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №3 (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Защита лабораторной работы №3 (Лабораторная работа)

## БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
	Срок КМ:	4	7	10	12	14	15
Современные представления об электричестве атмосферы и грозových облаках							
Современные представления об электричестве атмосферы и грозových облаках	+	+	+	+	+	+	+
Современные представления о физике молнии							
Современные представления о физике молнии	+	+	+	+	+	+	+
Характеристики грозовой активности и молнии							
Характеристики грозовой активности и молнии	+	+	+	+	+	+	+
Опасные воздействия молнии на наземные объекты и летательные аппараты							

Опасные воздействия молнии на наземные объекты и летательные аппараты	+	+	+	+	+	+
Поражаемость наземных объектов молнией и современные методы защиты объектов от прямых ударов молнии						
Поражаемость наземных объектов молнией и современные методы защиты объектов от прямых ударов молнии	+	+	+	+	+	+
Специальные вопросы заземления молниеотводов						
Специальные вопросы заземления молниеотводов	+	+	+	+	+	+
Специальные вопросы молниезащиты пожаро- и взрывоопасных зданий и сооружений						
Специальные вопросы молниезащиты пожаро- и взрывоопасных зданий и сооружений	+	+	+	+	+	+
Специальные вопросы молниезащиты электроэнергетических объектов						
Специальные вопросы молниезащиты электроэнергетических объектов	+	+	+	+	+	+
Специальные вопросы молниезащиты наземных и водных транспортных систем						
Специальные вопросы молниезащиты наземных и водных транспортных систем	+	+	+	+	+	+
Специальные вопросы молниезащиты летательных аппаратов						
Специальные вопросы молниезащиты летательных аппаратов	+	+	+	+	+	+
Особенности персональной защиты от молнии						
Особенности персональной защиты от молнии	+	+	+	+	+	+
Вес КМ:	16	14	22	13	13	22

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-2ПК-1 Демонстрирует понимание научных проблем в области физики молнии и молниезащиты и путей их решения	Знать: основные и специальные проблемы, цели и задачи, решаемые при исследовании физики молнии и разработке средств молниезащиты наземных объектов различного назначения и летательных аппаратов понятия и основные источники научной и технической информации по теории электричества атмосферы и физике молнии, экспериментальным и теоретическим исследованиям проблем физики молнии и молниезащиты, по особенностям и специфике воздействия молнии на наземные объекты и летательные аппараты, по	Контрольная работа №1 (Контрольная работа) Защита лабораторной работы №1 (Лабораторная работа) Контрольная работа №2 (Контрольная работа) Защита лабораторной работы №2 (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы №3 (Лабораторная работа) Контрольная работа №3 (Контрольная работа)

		<p>нормативной документации и типовым и специальным методам расчета и способам организации молниезащиты объектов различного назначения современные экспериментальные и теоретические методы определения эффективности и проектирования молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p> <p>Уметь:</p> <p>самостоятельно формулировать цели и задачи в области исследований современных проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p> <p>самостоятельно анализировать научно-техническую информацию о существующих и перспективных способах исследования физики молнии, методах и</p>	
--	--	---	--

		<p>устройствах молниезащиты наземных объектов различного назначения и летательных аппаратов и предлагать варианты решений в области проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов организовывать исследования в области физики молнии и молниезащиты и применять современные экспериментальные и теоретические методы определения эффективности молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p>	
--	--	---	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Контрольная работа №1

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 16

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Вариант задания выдается студентам в аудитории, либо высылается почтой ОСЭП. За час обучающиеся должны в письменном виде подготовить своё решение и сдать его на проверку преподавателю (в дистанционном формате: выслать фото-отчет или отсканированное решение почтой ОСЭП).

#### Краткое содержание задания:

Задания контрольной работы по параметрам грозовых облаков и молний охватывают следующие разделы дисциплины:

1. Современные представления об электричестве атмосферы и грозовых облаках;
2. Современные представления о физике молнии;
3. Характеристики грозовой активности и молнии.

Задание представляет из себя две задачи: первая направлена на определение параметров грозовых облаков и молнии, вторая - на расчет электромагнитного поля, создаваемого на поверхности земли молнией.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные и специальные проблемы, цели и задачи, решаемые при исследовании физики молнии и разработке средств молниезащиты наземных объектов различного назначения и летательных аппаратов	1. Рассчитать заряд грозовой ячейки объемом $5000000 \text{ м}^3$ , формируемой на высотах выше нулевой изотермы, при влажности облака $500 \text{ мг/м}^3$ . Радиус облачных капель составляет $900 \text{ мкм}$ . Зарядка их происходит при взрыве переохлажденных капель. Определить напряженность поля на нижней границе этой грозовой ячейки, если ее центр располагается на высоте $6 \text{ км}$ над поверхностью земли.
Уметь: самостоятельно анализировать научно-техническую информацию о существующих и перспективных способах исследования физики молнии, методах и устройствах молниезащиты наземных объектов различного назначения и летательных аппаратов и предлагать варианты решений в области проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов	1. Два пункта системы «magnetic field direction finders» находятся на расстоянии $130 \text{ км}$ друг от друга на одной широте. При ударе молнии ортогональные антенны первого пункта зарегистрировали следующий сигнал - петля Север-Юг: $30 \text{ мВ}$ , петля Восток-Запад: $60 \text{ мВ}$ . При ударе молнии ортогональные антенны второго пункта зарегистрировали следующий сигнал - петля Север-Юг: $55 \text{ мВ}$ , петля Восток-Запад: $45 \text{ мВ}$ . Угловая погрешность работы каждого пункта составляет $1 \text{ градус}$ .  Определить среднее расстояние от места удара молнии до каждого из измерительных пунктов. Определить площадь поверхности места возможного удара молнии в землю. Определить амплитуду тока разряда молнии, если измеренная максимальная напряженность электрического поля в месте нахождения второго



	измерительного пункта составила 50 В/м.
Уметь: самостоятельно формулировать цели и задачи в области исследований современных проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов	1. Рассчитать заряд грозовой ячейки объемом $5000000 \text{ м}^3$ , формируемой на высотах выше нулевой изотермы, при влажности облака $500 \text{ мг/м}^3$ . Радиус облачных капель составляет 900 мкм. Зарядка их происходит при взрыве переохлажденных капель. Определить напряженность поля на нижней границе этой грозовой ячейки, если ее центр располагается на высоте 6 км над поверхностью земли.

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения задания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Отлично», если решения всех задач выполнены без ошибок и представлены аргументированные выводы по полученным расчетным результатам

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения задания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Хорошо», если решения двух из трех задач выполнены без ошибок и представлены аргументированные выводы по полученным расчетным результатам, а при решении третьей задачи допущены неточности в расчетах и непринципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения задания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Удовлетворительно», если решения двух из трех задач выполнены в целом без принципиальных ошибок, но выводы по полученным расчетным результатам слабо аргументированы, а третья задача не решена или при ее решении допущены грубые ошибки

### КМ-2. Защита лабораторной работы №1

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 14

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчета, устная беседа со студентом

### Краткое содержание задания:

Цель работы: исследование характеристики грозовой деятельности и электрических характеристик молнии.

Описание экспериментального оборудования: экспериментальный комплекс "ГРОЗА" позволяет создавать искусственные грозовые облака отрицательной или положительной полярности или систему из двух униполярно или разнополярно заряженных грозовых ячеек в аэрозольной камере или на открытом пространстве.

Экспериментальный комплекс "ГРОЗА" предназначен для исследования и решения фундаментальных и практических задач атмосферного электричества, физики молнии и молниезащиты летательных аппаратов и наземных объектов. Напряженность электрического поля, создаваемого искусственным грозовым облаком, вблизи поверхности земли может достигать 6-8 кВ/см, а у границ облака заряженного аэрозоля 17-19 кВ/см и более. Максимальный потенциал облака может достигать 2,5-3,0 МВ.

Предельная плотность объемного заряда в облаке может достигать значений до  $0,001 \text{ Кл/м}^3$ .

Ход работы: С помощью осциллографа одновременно снять осциллограммы токов смещения и тока разряда для положительных и отрицательных молний. Из осциллограмм извлечь следующие экспериментальные данные:

- 1.  $I_{max}$  - амплитуда тока разряда, А;
- 2.  $I_{см+}, I_{см-}$  - максимальное положительное и отрицательное значение тока смещения;
- 3.  $T_{имп}$  - длительность импульса, нс;
- 4.  $t_{0,1}, t_{0,3}, t_{0,9}$  - длительность фронта, нс;
- 5.  $a_{0,1-0,9}, a_{0,3-0,9}$  - крутизна тока, А/нс;
- 6.  $Q_{сум}$  - заряд, переносимый током, нКл.
- Всесторонне проанализировать извлеченные данные, сделать выводы.

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные и специальные проблемы, цели и задачи, решаемые при исследовании физики молнии и разработке средств молниезащиты наземных объектов различного назначения и летательных аппаратов	1.Перечислите методы исследования молнии и определения ее характеристик.
Знать: современные экспериментальные и теоретические методы определения эффективности и проектирования молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов	1.Дайте определение следующим терминам: крутизна тока, длительность импульса, длительность фронта, интеграл действия? Почему в ходе лабораторной работы мы рассматриваем две крутизны: $a_{0,1-0,9}, a_{0,3-0,9}$ ? В чём состоит отличие между ними?
Уметь: самостоятельно анализировать научно-техническую информацию о существующих и перспективных способах исследования физики молнии, методах и устройствах молниезащиты наземных объектов различного назначения и летательных аппаратов и предлагать варианты решений в области проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов	1.Какие параметры импульса тока финальной стадии разряда между искусственным грозовым облаком и землей определяются в лабораторной работе на основе полученных осциллограмм? 2.Как по полученным осциллограммам определить полярность разряда между облаком и землей?

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-3. Контрольная работа №2

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 22

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Вариант задания выдается студентам в аудитории, либо высылается почтой ОСЭП. За час обучающиеся должны в письменном виде подготовить своё решение и сдать его на проверку преподавателю (в дистанционном формате: выслать фото-отчет или отсканированное решение почтой ОСЭП).

#### Краткое содержание задания:

Задания второй контрольной работы обхватывают следующие разделы дисциплины:

1. Современные представления о физике молнии;
2. Характеристики грозовой активности и молнии;
3. Опасные воздействия молнии на наземные объекты и летательные аппараты;
4. Поражаемость наземных объектов молнией и современные методы защиты объектов от прямых ударов молнии;
5. Специальные вопросы заземления молниеотводов.

Задание представляет из себя три задачи направленных на определение опасных воздействий молнии; на поражаемость наземных объектов молнией и на расчет характеристик грозовой активности и молнии.

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: современные экспериментальные и теоретические методы определения эффективности и проектирования молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p>	<p>1. На каком расстоянии от дерева должен прятаться человек от дождя, чтобы не быть пораженным молнией? Какова должна быть высота дерева (надежность защиты 0,995)?</p> <p>Исходные данные:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• - сопротивление самозаземления молнии 35 Ом,</li> <li>• индуктивность дерева 1,75 мкГн/м;</li> <li>• - рост человека 185 см;</li> <li>• - ток молнии и крутизну его фронта принять соответствующими 6 % вероятности.</li> </ul>
<p>Уметь: организовывать исследования в области физики молнии и молниезащиты и применять современные экспериментальные и теоретические методы определения эффективности молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p>	<p>1. Определить сечения сердечника из меди, алюминия и стали (в мм<sup>2</sup>) токоотводов молниеотвода в виде кабеля, при котором не происходит повреждения изоляции кабеля (температура начала деградации полимерной изоляции 130 °С) при протекании по нему тока молнии с удельной энергией на уровне 4×10<sup>6</sup> Дж/Ом. Нормальная температура: 20 °С.</p>
<p>Уметь: самостоятельно</p>	<p>1. На каком расстоянии от дерева должен прятаться</p>

<p>анализировать научно-техническую информацию о существующих и перспективных способах исследования физики молнии, методах и устройствах молниезащиты наземных объектов различного назначения и летательных аппаратов и предлагать варианты решений в области проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p>	<p>человек от дождя, чтобы не быть пораженным молнией? Какова должна быть высота дерева (надежность защиты 0,995)? Исходные данные:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- сопротивление самозаземления молнии 35 Ом, индуктивность дерева 1,75 мкГн/м;</li> <li>- рост человека 185 см;</li> <li>- ток молнии и крутизну его фронта принять соответствующими 6 % вероятности.</li> </ul>
<p>Уметь: самостоятельно формулировать цели и задачи в области исследований современных проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p>	<p>1. Лидер молнии спускается вертикально вниз из облака, находящегося на высоте <math>H = 3</math> км, со скоростью <math>v_{л} = 10^5</math> м/с. Погонный заряд канала лидера 420 мкКл/м. Радиус канала лидера 1,45 см. Средняя напряженность электрического поля в чехле лидера <math>E_{ср} = 11</math> кВ/см. А) Определить радиус зоны ионизации лидера молнии. Б) Построить зависимость изменения напряженности электрического поля на поверхности земли на расстоянии <math>D = 0,2</math> км от места спуска лидера молнии от момента возникновения лидера молнии до момента достижения им поверхности земли.</p>

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Отлично», если решения всех задач выполнены без ошибок и представлены аргументированные выводы по полученным расчетным результатам

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Хорошо», если решения двух из трех задач выполнены без ошибок и представлены аргументированные выводы по полученным расчетным результатам, а при решении третьей задачи допущены неточности в расчетах и не принципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Удовлетворительно», если решения двух из трех задач выполнены в целом без принципиальных ошибок, но выводы по полученным расчетным результатам слабо аргументированы, а третья задача не решена или при ее решении допущены грубые ошибки

#### КМ-4. Защита лабораторной работы №2

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 13

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчета, устная беседа

**Краткое содержание задания:**

Лабораторная работа направлена на изучение особенностей молниезащиты комплекса промышленных и гражданских зданий, сооружений и коммуникаций. 1.

### **Экспериментальная часть лабораторной работы**

#### **1.1. Описание экспериментального комплекса**

Экспериментальная часть лабораторной работы проводится в высоковольтном зале.

Источником напряжения служит ГИН – 1 МВ. К высоковольтному стержню прикладывается грозовой импульс напряжения амплитудой 1,2/50 мкс. Межэлектродное расстояние промежутка «высоковольтный стержень – заземленная плоскость» составляет 0,8-1,3 метра. На заземленной плоскости расположены три группы моделей объектов:

1 – объекты (трансформаторы) ОРУ подстанции с подходящими к ним линиями электропередачи;

2 – комплекс жилых и общественных зданий и сооружений;

3 – комплекс взрывоопасных объектов (резервуарный парк). Молниеотводы имитируются телескопическими стержневыми электродами и тросовыми проводниками. Факт поражения модели защищаемого объекта или молниеотвода определяется визуально и с использованием цифрового фотоаппарата.



Figure 1 Рис.1. Три группы моделей объектов различного назначения, расположенные на заземленной плоскости

### **1.2. Задание на эксперименты**

#### **1.2.1. Защита объекта одиночным стержневым молниеотводом.**

А. Установить в одной вертикальной плоскости: модель молниеотвода высотой  $h = 18$  (21, 23 или 28) см, модель защищаемого объекта высотой  $h_x = 13$  (16, 18 или 23) см на расстоянии  $r_x = 10$  см от молниеотвода и высоковольтный электрод (расположен над моделью защищаемого объекта). При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемый объект.

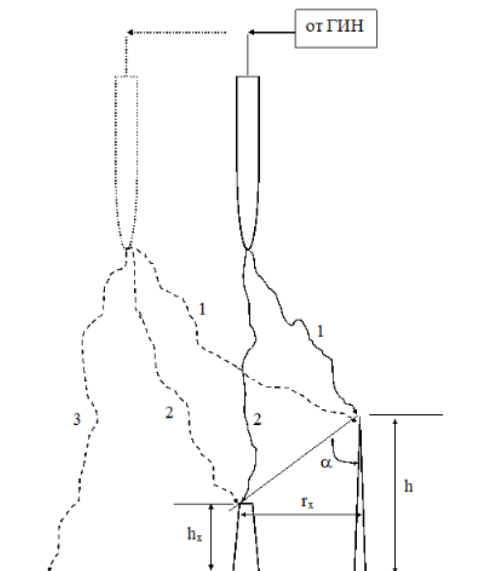


Figure 2 Рис. 2. Конфигурация электродной системы для раздела 1.2.1.

При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемый объект (путь разряда 2). Построить зависимость вероятности поражения модели объекта разрядом от высоты модели молниеотвода и т.н. «угла защиты» молниеотвода  $\alpha$ .

*Б.* Установить в одной вертикальной плоскости: модель молниеотвода высотой  $h = 25$  (28, 30 или 35) см, модель защищаемого объекта высотой  $h_x = 13$  (16, 18 или 23) см на расстоянии  $r_x = 10$  см от молниеотвода и высоковольтный электрод (расположен над моделью защищаемого объекта) (рис.2). При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемый объект.

Не меняя расстояния между молниеотводом и защищаемым объектом, смещать высоковольтный стержневой электрод в сторону от объекта на 5 см до тех пор, пока все разряды не перестанут попадать в систему молниезащиты (пути разряда 2 и 3 на рис. 2). При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемый объект. Построить зависимость вероятности поражения модели объекта разрядом от смещения высоковольтного электрода относительно модели защищаемого объекта.

### **1.2.2. Защита объекта двойным стержневым молниеотводом.**

*А.* Установить в одной вертикальной плоскости: модель защищаемого объекта высотой  $h_x = 13$  (16, 18 или 23) см, по обеим сторонам от объекта модели молниеотводов высотой  $h = 18$  (21, 23 или 28) см, на одинаковом расстоянии  $R = 15$  см от объекта и высоковольтный электрод (расположен над моделью защищаемого объекта) (рис.3). При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемый объект (путь разряда 2).

Не меняя расстояния между молниеотводами и защищаемым объектом, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты (пути разряда 1). При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемый объект. Построить зависимость вероятности поражения модели объекта разрядом от высоты моделей молниеотводов.

*Б.* Установить в одной вертикальной плоскости: модель защищаемого объекта высотой  $h_x = 13$  (16, 18 или 23) см, по обеим сторонам от объекта модели молниеотводов

высотой  $h = 21$  (24, 26 или 29) см, на одинаковом расстоянии  $R = 15$  см от объекта и высоковольтный электрод (расположен над моделью защищаемого объекта) (рис. 3). При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемый объект.

Не меняя расстояния между молниеотводами и защищаемым объектом, высоту молниеотводов, увеличивать радиус кривизны вершины одной из моделей молниеотводов от острия до  $r_{кр} = 15$  мм. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемый объект, в первый и второй молниеотвод. Построить зависимость вероятности поражения модели объекта разрядом от радиуса кривизны вершины модели одного из молниеотводов. Объяснить полученные экспериментальные результаты.

*В.* Установить в одной вертикальной плоскости: модель защищаемого объекта высотой  $h_x = 13$  (16, 18 или 23) см, по обеим сторонам от объекта модели молниеотводов высотой  $h = 21$  (24, 26 или 29) см, на одинаковом расстоянии  $R = 15$  см от объекта и высоковольтный электрод (расположен над моделью защищаемого объекта) (рис. 3). «Разземлить» один из молниеотводов. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемый объект, в первый и второй молниеотвод. Объяснить полученные экспериментальные результаты.

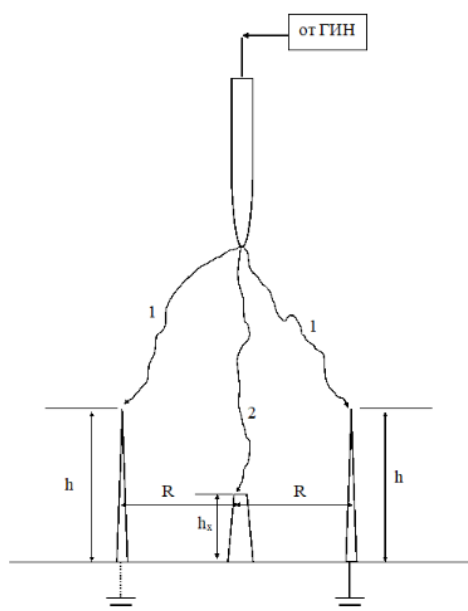


Figure 3 Рис. 3. Конфигурация электродной системы для раздела 1.2.2

### **1.2.3. Защита фазных проводов ЛЭП тросовым молниеотводом**

*А.* Установить модель линии электропередачи на плоскости под высоковольтным электродом. Определить угол защиты  $\alpha$  (рис. 4). Высоковольтный электрод разместить в центре над пролетом модели ЛЭП.

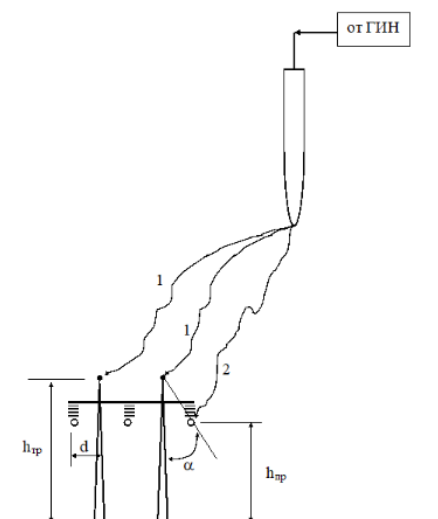


Figure 4 Рис. 4. Конфигурация электродной системы для раздела 1.2.3

При данной конфигурации электродной системы произвести 20 разрядов и определить количество ударов в защищаемый фазный провод (путь разряда 2) и тросовую защиту (пути разряда 1).

Определить вероятность поражения модели фазного провода разрядом при рассматриваемом угле защиты троса  $\alpha$ . Сравнить с результатами расчета по эмпирическим формулам. Объяснить полученные экспериментальные результаты.

Б. Установить модель линии электропередачи на плоскости под высоковольтным электродом. Высоковольтный электрод разместить сбоку от пролета модели ЛЭП в ее поперечном сечении на расстоянии 70 см от модели среднего фазного провода (рис. 4). Не меняя расположение модели линии электропередачи, уменьшать смещение высоковольтного электрода на 10 см. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемый фазный провод, в первый и второй тросовый молниеотводы. Построить зависимость вероятности поражения модели фазного провода разрядом от расстояния высоковольтного электрода до модели ЛЭП. Объяснить полученные экспериментальные результаты.

#### 1.2.4. Защита модели ОРУ многократным стержневым молниеотводом.

А. Расположить модель объектов (трансформаторы) ОРУ подстанции под высоковольтным электродом (рис. 5). Установить на территории ОРУ модели молниеотводов (2 штуки) высотой  $h_2 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории ОРУ, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты. Построить зависимость вероятности поражения модели объектов (трансформаторов) ОРУ разрядом от высоты моделей молниеотводов.

Б. Расположить модель объектов (трансформаторы) ОРУ подстанции под высоковольтным электродом (рис. 5). Установить на территории ОРУ модели молниеотводов (3 штуки) высотой  $h_3 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории ОРУ, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в



систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты. Построить зависимость вероятности поражения модели объектов (трансформаторов) ОРУ разрядом от высоты моделей молниеотводов.

*В.* Расположить модель объектов (трансформаторы) ОРУ подстанции под высоковольтным электродом (рис. Э5). Установить на территории ОРУ модели молниеотводов (4 штуки) высотой  $h_4 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории ОРУ, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты. Построить зависимость вероятности поражения модели объектов (трансформаторов) ОРУ разрядом от высоты моделей молниеотводов.



Figure 5 Рис. 5. Модель ОРУ подстанции

### ***1.2.5. Защита комплекса жилых и общественных зданий и сооружений многократным стержневым молниеотводом***

*А.* Расположить модель комплекса жилых и общественных зданий и сооружений под высоковольтным электродом (рис. 6). Установить на территории комплекса модели молниеотводов (3 штуки) высотой  $h_3 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории комплекса, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты. Построить зависимость вероятности поражения защищаемых объектов разрядом от высоты моделей молниеотводов.



Figure 6 Рис. 6. Модель комплекса жилых и общественных зданий и сооружений

*Б.* Расположить модель комплекса жилых и общественных зданий и сооружений под высоковольтным электродом (рис. 6). Установить на территории комплекса модели молниеотводов (4 штуки) высотой  $h_4 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории комплекса, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты.

Построить

зависимость вероятности поражения защищаемых объектов разрядом от высоты моделей молниеотводов.

*В.* Расположить модель комплекса жилых и общественных зданий и сооружений под высоковольтным электродом (рис. 6). Установить на территории комплекса модели молниеотводов (5 штук) высотой  $h_5 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории комплекса, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты.

Построить зависимость вероятности поражения защищаемых объектов разрядом от высоты моделей молниеотводов.

*Г.* Расположить модель комплекса жилых и общественных зданий и сооружений под высоковольтным электродом (рис. 6). Установить на территории комплекса модели молниеотводов (6 штук) высотой  $h_6 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории комплекса, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты.

Построить зависимость вероятности поражения защищаемых объектов разрядом от высоты моделей молниеотводов.

**1.2.6. Защита комплекса жилых и общественных зданий и сооружений одиночным и двойным тросовым молниеотводом.**

*А.* Расположить модель комплекса жилых и общественных зданий и сооружений под высоковольтным электродом (рис. 6). Установить на территории комплекса модель одиночный тросовый молниеотвод высотой  $h_{тр} = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотвода на территории комплекса, увеличивать высоту модели тросового молниеотвода на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты. Построить зависимость вероятности поражения защищаемых объектов разрядом от высоты модели тросового молниеотвода.

*Б.* Расположить модель комплекса жилых и общественных зданий и сооружений под высоковольтным электродом (рис. 6). Установить на территории комплекса модели двойного тросового молниеотвода высотой  $h_{тр} = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории комплекса, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты. Построить зависимость вероятности поражения защищаемых объектов разрядом от высоты моделей молниеотводов.

#### ***1.2.7. Защита комплекса взрывоопасных объектов (резервуарный парк) многократным стержневым молниеотводом.***

*А.* Расположить модель комплекса комплекса взрывоопасных объектов (резервуарный парк) под высоковольтным электродом (рис. 7). Установить на территории комплекса взрывоопасных объектов модели молниеотводов (2 штуки) высотой  $h_2 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории комплекса, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты. Построить зависимость вероятности поражения защищаемых объектов разрядом от высоты моделей молниеотводов.

*Б.* Расположить модель комплекса комплекса взрывоопасных объектов (резервуарный парк) под высоковольтным электродом (рис. 7). Установить на территории комплекса взрывоопасных объектов модели молниеотводов (3 штуки) высотой  $h_3 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории комплекса, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты. Построить зависимость вероятности поражения защищаемых объектов разрядом от высоты моделей молниеотводов.



Figure 7 Рис. 7. Модель резервуарного парка

*В.* Расположить модель комплекса взрывоопасных объектов (резервуарный парк) под высоковольтным электродом (рис. Э7). Установить на территории комплекса взрывоопасных объектов модели молниеотводов (4 штуки) высотой  $h_4 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты.

Не меняя расположение молниеотводов на территории комплекса, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты. Построить зависимость вероятности поражения защищаемых объектов разрядом от высоты моделей молниеотводов.

*Г.* Расположить модель комплекса взрывоопасных объектов (резервуарный парк) под высоковольтным электродом (рис. 7). Смоделировать взрыво-пожароопасную зону над моделями резервуаров. Установить на территории комплекса взрывоопасных объектов модели молниеотводов (4 штуки) высотой  $h_4 = 18$  (21, 23 или 28) см. При данной конфигурации электродной системы произвести 10 (20) разрядов и определить количество ударов в защищаемые объекты и факт наличия/отсутствия возгорания взрывоопасных областей над резервуарами.

Не меняя расположение молниеотводов на территории комплекса, увеличивать высоты моделей молниеотводов на 2 см до тех пор, пока все разряды не будут попадать в систему молниезащиты. При всех конфигурациях электродной системы снова производить 10 (20) разрядов и определять количество ударов в защищаемые объекты, а также наличие возгораний взрывоопасных областей над резервуарами. Построить зависимость вероятности поражения защищаемых объектов разрядом от высоты моделей молниеотводов.

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: понятия и основные источники научной и технической информации по теории электричества атмосферы и физике молнии, экспериментальным и теоретическим исследованиям проблем физики молнии и молниезащиты, по особенностям и специфике воздействия</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перечислите надёжности защиты для различных видов молниеотводов по СО – 153 – 34.21.122-2003 и РД 34.21.122-87.</li> <li>2. Какие новые тенденции в сфере исследования эффективности молниезащиты и разработки новых средств молниезащиты вы можете назвать?</li> </ol>
--	---

молнии на наземные объекты и летательные аппараты, по нормативной документации и типовым и специальным методам расчета и способам организации молниезащиты объектов различного назначения	
Уметь: организовывать исследования в области физики молнии и молниезащиты и применять современные экспериментальные и теоретические методы определения эффективности молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Как определить, к какому классу молниезащиты относится тот или иной объект?</li> <li>2.Как обработать данные экспериментов с применением генератора импульсных напряжений?</li> </ol>
Уметь: самостоятельно анализировать научно-техническую информацию о существующих и перспективных способах исследования физики молнии, методах и устройствах молниезащиты наземных объектов различного назначения и летательных аппаратов и предлагать варианты решений в области проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Расскажите о конструкциях современных, использующихся молниеотводов.</li> </ol>
Уметь: самостоятельно формулировать цели и задачи в области исследований современных проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Назовите типы молниеотводов, приведите примеры.</li> </ol>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-5. Защита лабораторной работы №3

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 13

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчета, устная беседа

#### Краткое содержание задания:

На основе экспериментальных данных *лабораторной работы №2* программно смоделировать геометрическое расположение защищаемых объектов и произвести теоретические расчеты:

1. Рассчитать для экспериментальной конфигурации п. 1.2.1.А в предположении масштабирования 1:100 зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода с надежностью 0,95 и 0,995 (согласно РД 34.21.122-87) и 0,9; 0,99 и 0,999 (согласно СО 153 – 34.21.122-2003). Оценить надежность защиты рассматриваемого объекта одиночным стержневым молниеотводом. Сопоставить экспериментальные и расчетные данные. Объяснить полученные результаты.

2. Рассчитать для экспериментальной конфигурации п. 1.2.2.А в предположении масштабирования 1:100 зоны защиты двойного стержневого молниеотвода с надежностью 0,95 и 0,995 (согласно РД 34.21.122-87) и 0,9; 0,99 и 0,999 (согласно СО 153 – 34.21.122-2003). Оценить надежность защиты рассматриваемого объекта двойным стержневым молниеотводом. Сопоставить экспериментальные и расчетные данные. Объяснить полученные результаты.

3. Рассчитать для экспериментальной конфигурации п. 1.2.3. в предположении масштабирования 1:100 по формулам (ВЛ1) и (ВЛ2) вероятность поражения фазного провода линии электропередачи (номинальное напряжение  $U_H = 220$  кВ; радиус провода (эквивалентный)  $r_{pp} = 1,3$  см; стрела провеса провода  $f = 4$  м) разрядом молнии. Построить зависимость вероятности поражения фазного провода от угла защиты троса. На этот же график нанести экспериментальные зависимости. Объяснить полученные результаты.

4. Рассчитать для экспериментальных конфигураций п. 1.2.4.А-В в предположении масштабирования 1:100 зоны защиты молниеотводов с надежностью 0,95 и 0,995 (согласно РД 34.21.122-87) и 0,9; 0,99 и 0,999 (согласно СО 153 – 34.21.122-2003). Оценить надежность защиты объектов (трансформаторов и других) ОРУ многократным стержневым молниеотводом. Сопоставить экспериментальные и расчетные данные. Объяснить полученные результаты.

5. Рассчитать для экспериментальных конфигураций п. 1.2.5.А-Г в предположении масштабирования 1:100 зоны защиты молниеотводов с надежностью 0,95 и 0,995 (согласно РД 34.21.122-87) и 0,9; 0,99 и 0,999 (согласно СО 153 – 34.21.122-2003). Оценить надежность защиты комплекса гражданских и общественных зданий и сооружений многократным стержневым молниеотводом. Сопоставить экспериментальные и расчетные данные. Объяснить полученные результаты.

6. Рассчитать для экспериментальных конфигураций п. 1.2.6.А-Б в предположении масштабирования 1:100 зоны защиты одиночного и двойного тросового молниеотводов с надежностью 0,95 и 0,995 (согласно РД 34.21.122-87) и 0,9; 0,99 и 0,999 (согласно СО 153 – 34.21.122-2003). Оценить надежность защиты комплекса гражданских и общественных зданий и сооружений одиночным и двойным тросовым молниеотводом. Сопоставить экспериментальные и расчетные данные. Объяснить полученные результаты.

7. Рассчитать для экспериментальных конфигураций п. 1.2.7.А-Г в предположении масштабирования 1:100 зоны защиты молниеотводов с надежностью 0,95 и 0,995 (согласно РД 34.21.122-87) и 0,9; 0,99 и 0,999 (согласно СО 153 – 34.21.122-2003) без учета зон взрывоопасности и при их наличии. Оценить надежность защиты комплекса взрывоопасных объектов (резервуарного парка) многократным стержневым молниеотводом. Сопоставить экспериментальные и расчетные данные. Объяснить полученные результаты.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: понятия и основные источники научной и технической информации по теории электричества атмосферы и физике молнии, экспериментальным и теоретическим исследованиям проблем физики молнии и молниезащиты, по особенностям и специфике воздействия молнии на наземные объекты и летательные аппараты, по нормативной документации и типовым и специальным методам расчета и способам организации молниезащиты объектов различного назначения</p>	<p>1.Какие концепции расчетного определения защитного действия молниеотводов вам известны? Что у этих концепция общего? Чем они различаются? 2.Перечислите недостатки электро-геометрического метода.</p>
<p>Знать: современные экспериментальные и теоретические методы определения эффективности и проектирования молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p>	<p>1.В чем заключались лабораторные исследования А.А. Акопяна? 2.Для объекта высотой <math>h</math> из чего будет складываться величина <math>F_{ст}</math>?</p>
<p>Уметь: организовывать исследования в области физики молнии и молниезащиты и применять современные экспериментальные и теоретические методы определения эффективности молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p>	<p>1.Какие особенности применения электрогеометрического метода определения зон защиты молниеотводов для высоких объектов?</p>
<p>Уметь: самостоятельно анализировать научно-техническую информацию о существующих и перспективных способах исследования физики молнии, методах и устройствах молниезащиты наземных объектов различного назначения и летательных аппаратов и</p>	<p>1.Расскажите как происходит экспериментальное определение зон защиты молниеотводов? 2.Покажите особенности построения зоны защиты одиночного тросового молниеотвода.</p>

предлагать варианты решений в области проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов	
Уметь: самостоятельно формулировать цели и задачи в области исследований современных проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов	1. Как выглядит зона защиты одиночного стержневого молниеотвода, двух стержневых молниеотводов, тросового молниеотвода в общем случае?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

**КМ-6. Контрольная работа №3**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 22

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Вариант задания выдается студентам в аудитории, либо высылается почтой ОСЭП. За час обучающиеся должны в письменном виде подготовить своё решение и сдать его на проверку преподавателю (в дистанционном формате: выслать фото-отчет или отсканированное решение почтой ОСЭП).

**Краткое содержание задания:**

Задания третьей контрольной работы обхватывают следующие разделы дисциплины:

1. Специальные вопросы молниезащиты пожаро- взрывоопасных зданий и сооружений;
2. Специальные вопросы молниезащиты электроэнергетических объектов;
3. Специальные вопросы молниезащиты наземных и водных транспортных систем;
4. Специальные вопросы молниезащиты летательных аппаратов;
5. Особенности персональной защиты от молнии.

Задание представляет из себя три задачи направленных на расчет молниезащиты энергетических объектов и расчет молниезащиты летательных аппаратов.

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: организовывать исследования в области физики молнии и молниезащиты и	1. Определить по электро-геометрическому методу вероятность удара молнии в крайний фазный провод ВЛ-750 кВ, защищенную тросами. Сравнить
---	--



<p>применять современные экспериментальные и теоретические методы определения эффективности молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p>	<p>полученный результат с расчетом по «Руководству по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений».</p> <p>Исходные данные: высота расположения провода <math>h_{\text{пр}} = 35</math> м, угол защиты троса <math>24^\circ</math>, расстояние трос-провод по вертикали 11,5 м, стрелы провеса троса <math>f_{\text{тр}} = 5</math> м и провода <math>f_{\text{пр}} = 7,0</math> м, эквивалентный радиус провода <math>r_{\text{пр}} = 39</math> см</p>
<p>Уметь: самостоятельно формулировать цели и задачи в области исследований современных проблем физики молнии и молниезащиты наземных объектов и летательных аппаратов</p>	<p>1. Толщина стенки стального резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов составляет 0,32 см. Определить вероятность того, что при ударе молнии в такой резервуар в нем может образоваться отверстие площадью 3,4 мм<sup>2</sup>.</p> <p>2. Определить среднегодовое число ударов молнии в самолет, совершающий межконтинентальные рейсы. Трасса проходит на широте 59 градусов. Высота полета 9-10 км. Максимальная длина самолета 50 м. Время взлета и посадки составляет не более 19 % общего времени в пути. Среднее число грозových дней на трассе 60 гр.дн./год. Коэффициент использования самолета 0,34.</p>

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Отлично», если решения всех задач выполнены без ошибок и представлены аргументированные выводы по полученным расчетным результатам

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Хорошо», если решения двух из трех задач выполнены без ошибок и представлены аргументированные выводы по полученным расчетным результатам, а при решении третьей задачи допущены неточности в расчетах и не принципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Удовлетворительно», если решения двух из трех задач выполнены в целом без принципиальных ошибок, но выводы по полученным расчетным результатам слабо аргументированы, а третья задача не решена или при ее решении допущены грубые ошибки

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 1 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

#### Билет 1

##### Теоретическая часть

1. Приведите определение молниеотвода и его защитного действия. Укажите конструкции современных молниеотводов и требования к ним.
2. Поясните особенности молниезащиты носовых обтекателей самолетов и конструктивных элементов, выполненных из композиционных материалов.

##### Расчетная часть

3. Обратный разряд молнии (главная стадия) распространяется вертикально вверх от земли к облаку, находящегося на высоте  $H = 3,0$  км, со скоростью  $v = 6 \times 10^7$  м/с. Погонный заряд канала главного разряда составляет 1 мКл/м. Амплитуда тока молнии 60 кА. Построить зависимость изменения напряженности электрического поля на поверхности земли на расстоянии  $D = 0,3$  км от места спуска лидера молнии от момента возникновения обратного разряда молнии до момента достижения им облака.

### Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на подготовку ответа – 60 минут.

#### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

1. **Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-1 Демонстрирует понимание научных проблем в области физики молнии и молниезащиты и путей их решения

### Вопросы, задания

#### 1. Билет 1

##### Теоретическая часть

1. Приведите определение молниеотвода и его защитного действия. Укажите конструкции современных молниеотводов и требования к ним.
2. Поясните особенности молниезащиты носовых обтекателей самолетов и конструктивных элементов, выполненных из композиционных материалов.

##### Расчетная часть

3. Обратный разряд молнии (главная стадия) распространяется вертикально вверх от земли к облаку, находящегося на высоте  $H = 3,0$  км, со скоростью  $v = 6 \times 10^7$  м/с. Погонный заряд канала главного разряда составляет 1 мКл/м. Амплитуда тока молнии 60 кА. Построить зависимость изменения напряженности электрического поля на поверхности земли на расстоянии  $D = 0,3$  км от места спуска лидера молнии от момента возникновения обратного разряда молнии до момента достижения им облака.

#### 2. Билет 2

### **Теоретическая часть**

1. Специфика и перспективы экспериментального, электро-геометрического и вероятностного метода расчета поражаемости наземных объектов молнией и эффективности защиты от прямых ударов молнии.
2. Особенности молниезащиты воздушных линий электропередачи, оборудованных тросовой защитой. Специфика молниезащиты воздушных линий электропередачи без тросовых молниеотводов.

### **Расчетная часть**

3. Определите радиус зоны ионизации лидера молнии, если средний заряд лидера на единицу длины составляет 500 Кл/м, радиус канала 1 см, а средняя электрическая напряженность поля в чехле лидера 10 кВ/см. Высоту над уровнем моря не учитывайте.
- 3.Билет 3**

### **Теоретическая часть**

1. Специальные вопросы физики процесса поражения молнией наземных объектов. Современные методы определения поражаемости наземных объектов молнией и зон защиты молниеотводов.
2. Специальные вопросы молниезащиты летательных аппаратов. Физика процесса поражения молнией летательных аппаратов.

### **Расчетная часть**

3. Рассчитать заряд грозовой ячейки объемом  $30000000 \text{ м}^3$ , формируемой на высотах выше нулевой изотермы, при водности облака  $900 \text{ мг/м}^3$ . Облачная структура состоит из облачных капель радиусом 900 мкм (10 % массы воды в облаке) и радиусом 400 мкм (90 % массы воды в облаке). Зарядка их происходит при взрыве переохлажденных капель. Определить напряженность поля на нижней границе этой грозовой ячейки, если ее центр располагается на высоте 5,5 км над поверхностью земли.
- 4.Билет 4**

### **Теоретическая часть**

1. Специальные вопросы физики процесса поражения молнией наземных объектов. Современные методы определения поражаемости наземных объектов молнией и зон защиты молниеотводов.
2. Типовые и специальные конструкции заземлителей молниеотводов и их характеристики. Методы расчета импульсного сопротивления заземлителя. Современные подходы к снижению импульсного сопротивления заземления молниеотвода.

### **Расчетная часть**

3. Два пункта системы «magnetic field direction finders» находятся на расстоянии 100 км друг от друга на одной долготе. При ударе молнии ортогональные антенны первого пункта зарегистрировали следующий сигнал - петля Север-Юг: 20 мВ, петля Восток-Запад: 110 мВ. При ударе молнии ортогональные антенны второго пункта зарегистрировали следующий сигнал - петля Север-Юг: 45 мВ, петля Восток-Запад: 45 мВ. Угловая погрешность работы каждого пункта составляет 0,8 градуса. Определить среднее расстояние от места удара молнии до каждого из измерительных пунктов. Определить площадь поверхности места возможного удара молнии в землю. Определить амплитуду тока разряда молнии, если измеренная максимальная напряженность электрического поля в месте нахождения второго измерительного пункта составила 200 В/м.
- 5.Билет 5**

### **Теоретическая часть**

1. 1. Общая характеристика электромагнитных, газодинамических, тепловых и электродинамических воздействий молнии. Опасные воздействия молнии.  
2. Типовые и специальные конструкции заземлителей молниеотводов и их характеристики. Методы расчета импульсного сопротивления заземлителя. Современные подходы к снижению импульсного сопротивления заземления молниеотвода.

### **Расчетная часть**

3. Сосредоточенный объект находится на поверхности земли на расстоянии 100 м от отдельно стоящего стержневого молниеотвода. Средняя высота объекта 16 метров. Емкость объекта 200000 пФ. Сопротивление заземлителя объекта 150 Ом. Линейная плотность канала главного разряда составляет 1 мКл/м. Скорость главного разряда  $v_r = 9 \times 10^7$  м/с. Определить промежуток времени после начала главной стадии молнии, когда перенапряжение на объекте за счет электростатической индукции превысит 10 кВ.

### **6.Билет 6**

### **Теоретическая часть**

1. 1. Современные системы дистанционного определения грозовой активности, места удара и параметров разряда молнии. Характеристики грозовой деятельности  
2. Особенности молниезащиты воздушных линий электропередачи, оборудованных тросовой защитой. Специфика молниезащиты воздушных линий электропередачи без тросовых молниеотводов.

### **Расчетная часть**

3. Определить высоту над поверхностью земли, при которой на градинах может возникнуть отрицательная и положительная корона в лавинной форме во внешнем электрическом поле напряженностью 3,9 кВ/см.

Параметры градин:

- (1) цилиндр - высота цилиндра 1 см, диаметр поперечного сечения 0,1 см;
- (2) эллипсоид вращения - большая ось 2 см, малые оси 0,2 см и 0,6 см, соответственно.

### **7.Билет 7**

### **Теоретическая часть**

1. 1. Основные понятия электричества атмосферы. Механизмы электризации аэрозольных частиц и электрофизические характеристики различных типов облаков.  
2. Методы исследования молнии и определения ее характеристик. Использование искусственных грозовых облаков для исследования физики молнии.

### **Расчетная часть**

3. Определить: проводники из какого материала (медь, алюминий, сталь) сечением 20 мм<sup>2</sup> не допустят превышения температуры проводника выше 120 °С при протекании по нему тока молнии с удельной энергией на уровне:

- А) 2 % вероятности;
- Б) 5 % вероятности;
- В) 10 % вероятности.

Нормальная температура: 15 °С.

### **8.Билет 8**

### **Теоретическая часть**

1. Грозовые облака и их характеристики. Современное состояние теории грозы
2. Специфика воздействия молнии на наземные и водные транспортные средства. Особенности молниезащиты железнодорожной транспортной сети.

### **Расчетная часть**

3. Определить среднегодовое число ударов молнии в самолёт, совершающий межконтинентальный рейс. Места взлёта и посадки расположены на широте  $60^\circ$ . Трасса полёта располагается на высоте 9-10 км и проходит также на широте  $60^\circ$ . Наибольший размер самолета составляет 55 м. Время взлёта и посадки составляет не более 11% общего времени пути. Среднее число грозовых дней на трассе составляет 70 гр.дн./год. Коэффициент использования самолета составляет 0,3.

### **9.Билет 9**

### **Теоретическая часть**

1. Специальные вопросы молниезащиты летательных аппаратов. Физика процесса поражения молнией летательных аппаратов.
2. Специфика и классификация молниезащиты взрывоопасных зданий, промышленных сооружений и коммуникаций. Современные нормативные документы по устройству молниезащиты пожаро- и взрывоопасных зданий и сооружений.

### **Расчетная часть**

3. Определить, насколько уменьшится вероятность того, что при ударе молнии в резервуар в нем может образоваться отверстие площадью  $S = 2\text{мм}^2$ , при увеличении толщины стенки стального резервуара от 0,75 мм до 3 мм.

### **10.Билет 10**

### **Теоретическая часть**

1. Назначение и специфика заземления молниеотводов. Электрофизические процессы в грунте при растекании импульсных токов молнии. Понятие естественного и искусственного заземлителя молниезащиты.
2. Специальные вопросы молниезащиты морских и речных судов. Специальные вопросы молниезащиты магистрального трубопроводного транспорта..

### **Расчетная часть**

3. Резервуар для хранения нефтепродуктов имеет следующие размеры: диаметр 18 м, высота 14 м. На крыше резервуара в центре имеется дыхательный клапан высотой 0,7 м. Выбросы дыхательного клапана тяжелее воздуха. Избыточное давление в резервуаре более 0,5 кПа. По степени опасности поражения молнией резервуар относится ко II-й категории. Выбрать местоположение отдельно стоящих стержневых молниеотводов и определить их высоту, обеспечивающую наибольшую надежность защиты.

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1.Какой вид облаков относится к грозовым?

Ответы:

- 1 - слоистые
- 2 - перистые
- 3 - кучевые
- 4 - кучево-дождевые

Верный ответ: 4

2. Наиболее часто встречающийся вид молнии между грозовым облаком и землей?

Ответы:

- 1 - нисходящая отрицательная
- 2 - нисходящая положительная
- 3 - восходящая отрицательная
- 4 - восходящая положительная

Верный ответ: 1

3. Каковы характерные диапазоны размеров грозовых ячеек?

Ответы:

- 1 - миллиметры
- 2 - сантиметры
- 3 - метры
- 4 - километры

Верный ответ: 3

4. Каковы характерные величины токов молнии?

Ответы:

- 1 - микроамперы
- 2 - миллиамперы
- 3 - амперы
- 4 - килоамперы

Верный ответ: 4

5. К какому виду опасных воздействий молнии относится «помпаж»?

Ответы:

- 1 - электромагнитные
- 2 - газодинамические
- 3 - термические
- 4 - электродинамические

Верный ответ: 2

6. Какой метод определения поражаемости наземных объектов молнией использован в стандарте МЭК?

Ответы:

- 1 - эмпирический
- 2 - экспериментальный
- 3 - электрогеометрический
- 4 - вероятностный

Верный ответ: 3

7. Из каких материалов может быть выполнен заземлитель молниеотвода?

Ответы:

- 1 - композит
- 2 - алюминий
- 3 - листовница
- 4 - железобетон

Верный ответ: 4

8. На какой из перечисленных ниже видов ВЛ не применяется грозозащитный трос по всей длине, за исключением участка защищенного подхода к подстанции?

Ответы:

- 1 - ВЛ 220 кВ на металлических опорах в районах числом грозовых часов в году более 60
- 2 - ВЛ 220 кВ на железобетонных опорах в районах числом грозовых часов в году более 60
- 3 - ВЛ 220 кВ на деревянных опорах в районах числом грозовых часов в году более 60
- 4 - ВЛ 220 кВ на композитных опорах в районах числом грозовых часов в году более 60

Верный ответ: 3

9. К объекту какой категории по степени опасности поражения молнии относится объект «резервуарный парк для хранения нефтепродуктов»?

Ответы:

1 - I категории

2 - II категории

3 - III категории

4 - IV категории

Верный ответ: 2

10. В какую часть самолета наибольшая вероятность удара молнии?

Ответы:

1 - фюзеляж

2 - носовой обтекатель

3 - крылья

4 - киль

Верный ответ: 2

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.