

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

---

**Направление подготовки: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы Высоковольтные электротехнологии**

**Уровень образования: магистратура**

**Форма обучения: очная**

**Методические указания по подготовке и оформлению  
курсового проекта**

|   |   |
|---|---|
| <b>Блок</b>                             | <b>Блок 1. Высоковольтные электротехнологии на основе сильных электрических полей</b> |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах</b> | <b>2 семестр – 7</b>  |
| <b>Часов (всего) по учебному плану</b>  | <b>252</b>  |

**Москва 2021**

Утверждено на заседании кафедры Техники и электрофизики высоких напряжений, протокол № 11 от 15.12.2021.

Составитель: ст. преподаватель каф. ТЭВН Воеводин В.В.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| 1. ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....   | 4  |
| 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ .....  | 4  |
| 2.1. Печатные и электронные издания:.....   | 4  |
| 2.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:.....                          | 4  |
| 2.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:..... | 5  |
| 3. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ .....   | 5  |
| 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....                          | 5  |
| 4. 1. Общие требования .....  | 5  |
| 4.2 Правила оформления курсового проекта .....  | 6  |
| 4.2.1 Структура курсового проекта.....  | 6  |
| 4.2.2 Основные правила оформления курсового проекта.....  | 7  |
| 4.2.2.1 Оформление текста.....  | 7  |
| 4.2.2.2 Оформление заголовков глав и разделов .....   | 7  |
| 4.2.2.3 Оформление формул.....  | 7  |
| 4.2.2.4 Оформление рисунков.....  | 8  |
| 4.2.2.5. Оформление таблиц.....   | 8  |
| 4.2.2.6 Оформление ссылок на литературу и другие источники информации .....                         | 9  |
| 4.2.2 Рекомендации по оформлению презентаций .....  | 9  |
| 4.3 Порядок сдачи и защиты курсового проекта .....  | 12 |
| 4.4 Общие критерии оценки курсового проекта.....  | 12 |

## 1. ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

**Курсовой проект** – это одна из форм самостоятельной учебной (творческой и научно-исследовательской) работы студента. Выполнение курсового проекта представляет собой самостоятельное решение студентом частной задачи или проведение исследования по конкретной тематике, выполняемое под руководством преподавателя.

**Целью** выполнения курсового проекта по дисциплине «Высоковольтные электротехнологии на основе сильных электрических полей» является закрепление, углубление и обобщение знаний, полученных студентом за время теоретического и практического обучения, формирование навыков их практического применения, расширение объема профессионально значимых умений и навыков.

Содержание курсового проекта должно отвечать учебным задачам дисциплины.

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 2.1. Печатные и электронные издания:

1. Электрофизические основы техники высоких напряжений : учебник для вузов по направлению "Электроэнергетика" / И. М. Бортник, [и др.], Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") ; общ. ред. И. П. Верещагин . – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 732 с. - Победитель Всероссийского конкурса рукописей учебной, научно-технической и справочной литературы по энергетике 2017 года . - ISBN 978-5-7046-1938-3.

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10742](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10742);

2. Высоковольтные электротехнологии : Учебное пособие для вузов по курсу "Основы электротехнологии" / О. А. Аношин, и др., Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) ; Ред. И. П. Верещагин . – М. : Изд-во МЭИ, 2000 . – 204 с. - ISBN 5-7046-0535-4;

3. Сборник задач по высоковольтным электротехнологиям : Учебное пособие по курсу "Электротехнологии" по направлениям "Электроэнергетика", "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / И. П. Верещагин, С. А. Кривов, Г. З. Мирзабекян, и др., Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 64 с. - ISBN 5-7046-1152-4;

4. Соколова, М. В. Электрофизические процессы в газовой изоляции : учебное пособие по направлению 140200 "Электроэнергетика" / М. В. Соколова, С. А. Кривов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 112 с. - ISBN 978-5-383-00228-5;

5. Райзер, Ю. П. Физика газового разряда / Ю. П. Райзер . – 3-е изд., перераб. и доп. – Долгопрудный : Интеллект, 2009 . – 736 с. - ISBN 978-591559-019-8 .;

6. Бортник И.М. , Белогловский А. А., Верещагин И. П., Вершинин Ю. Н.- "Электрофизические основы техники высоких напряжений", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (704 с.)

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72343](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72343).

### 2.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office;
2. Windows;

### 3. MATLAB

#### 2.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Журналы издательства Oxford University Press - <https://academic.oup.com/journals/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
10. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

### 3. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Выполняется в форме самостоятельной работы. Тема для подготовки курсового проекта: «Расчет степени очистки газов в пластинчатом электрофилтре».

### 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

#### 4. 1. Общие требования

Курсовой проект по дисциплине «Высоковольтные электротехнологии на основе сильных электрических полей» должен быть выполнен в соответствии с требованиями к содержанию и оформлению (п. 4.2).

Общий объем курсового проекта (не включая приложения) - в пределах от 35 до 50 страниц. Печатать следует на одной стороне листе формата А4 (210 x 297 мм). Задание, введение, заключение и список используемой литературы включаются в общий объем курсового проекта.

Примерное содержание курсового проекта:

- Произвести «вручную» расчет степени очистки газа для базового варианта электрофилтра.
- Составить программу расчета степени очистки газа на ЭВМ.
- Рассчитать степень очистки газа электрофилтром,
- На основе расчетных данных сделать заключение о влиянии исходных параметров.

Критериями оценивания курсового проекта на его защите выступают:

- соответствие содержания проекта полученному заданию и требованиям к оформлению работы;
- освещение вопросов, имеющих основополагающее значение и тесную связь с дисциплиной;

- самостоятельность выполненной работы с использованием полученных теоретических знаний и практических навыков;
- обоснованность конкретных выводов, предложений и рекомендаций по их реализации;
- способность применять навыки анализа полученных результатов, их оценки и поиска путей разрешения возникающих проблем;
- грамотное изложение материала, соблюдение норм речи, чёткость и логичность построения ответов.

## 4.2 Правила оформления курсового проекта

При оформлении курсового проекта обучающему необходимо ориентироваться на следующие нормативные документы и локальные нормативные акты:

- ГОСТ Р 7.0.100–2018 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.32–2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления;
- ГОСТ Р 7.0.4–2020 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Издания. Выходные сведения. Общие требования и правила оформления;
- ГОСТ Р 7.0.5–2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ Р 7.0.11–2011 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации;
- Положение о промежуточной аттестации обучающихся в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» по программам бакалавриата, программам специалитета и магистратуры от 20.04.2021 г.

### 4.2.1 Структура курсового проекта

Курсовой проект должен включать в себя следующие составные части:

- **Титульный лист на бланке** (приложение 1). Тема работы не должна содержать аббревиатур.
- **Задание** (приложение 2). Имеет сквозную нумерацию со всей работой.
- **Оглавление**.
- **Введение**: на 1-2 страницах формулируется постановка решаемой в работе задачи, обосновывается ее актуальность.
- **Основная часть** (разделенная на главы). В них раскрывается основное содержание работы. Каждая глава заканчивается выводами, вытекающими из приведенного в ней материала. Главы состоят из разделов. Порядок нумерации глав и разделов описан в параграфе 1.2.3 настоящих правил. Размещение какой-либо информации (текста, рисунков, таблиц, формул) вне разделов глав не допускается.
- **Заключение**: кратко излагаются основные результаты, полученные в работе, и формулируются вытекающие из них выводы.
- **Список использованной литературы**.
- **Приложения**.

## 4.2.2 Основные правила оформления курсового проекта

### 4.2.2.1 Оформление текста

Курсовой проект печатается на принтере на листах белой писчей бумаги формата А4 (297x210 мм). Поля должны иметь следующие размеры: верхнее и левое – 25 мм, нижнее и правое – 15 мм. Текст печатается шрифтом Times New Roman, размер шрифта – 12, междустрочный интервал – полуторный. Красная строка в начале абзаца составляет 10 мм. Используемые в тексте аббревиатуры печатаются заглавными буквами. В приводимых в тексте числах разделителем целой и дробной частей должна быть запятая. Текст абзацев выравнивается по ширине страницы.

Нумерация страниц записки сквозная: они нумеруются от первого (титulyного) до последнего листа (включая приложения). Номер страницы указывается в ее правом верхнем углу. На титульном листе номер не ставится.

### 4.2.2.2 Оформление заголовков глав и разделов

Каждая глава работы задание, оглавление, введение, заключение, список литературы и приложения начинаются с новой страницы. Их заголовки печатаются заглавными буквами и выравниваются по центру. Заголовки разделов глав печатаются строчными буквами и выравниваются по ширине. Заголовки глав и разделов отделяются от текста сверху и снизу пропуском одной пустой строки. Не допускается оставлять заголовок раздела в конце страницы, если за ним не помещается хотя бы 2 строки текста. В этом случае заголовок переносится на следующую страницу.

В конце любого заголовка точка не ставится.

Нумерация глав и разделов выполняется арабскими цифрами, которые отделяются от названия точками. Номер раздела состоит из числа, обозначающего номер главы, в состав которой он входит, и числа, обозначающего его порядковый номер в составе этой главы.

Разделителем этих чисел служит точка. Слова «Глава» и «Раздел» в заголовках не пишутся.

### 4.2.2.3 Оформление формул

В формулах следует использовать буквенные обозначения величин, предусмотренные стандартами. Используемые в формулах латинские буквы пишутся курсивом. Для цифр, букв русского и греческого алфавита применяется обычный (прямой) шрифт. Обычный шрифт необходимо использовать также для написания стандартных функций (sin, cos, ln, exp и так далее) и таких стандартных обозначений, как min, max и им подобные.

Нумерация формул является сквозной по всем главам работы, причем нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. Номер формулы указывается в круглых скобках справа в конце строки. Ссылка на нее в тексте оформляется аналогично.

Ниже, в качестве примера приведена, формула (1), а в следующем разделе на рис. 1 показан график описанной ею функции:

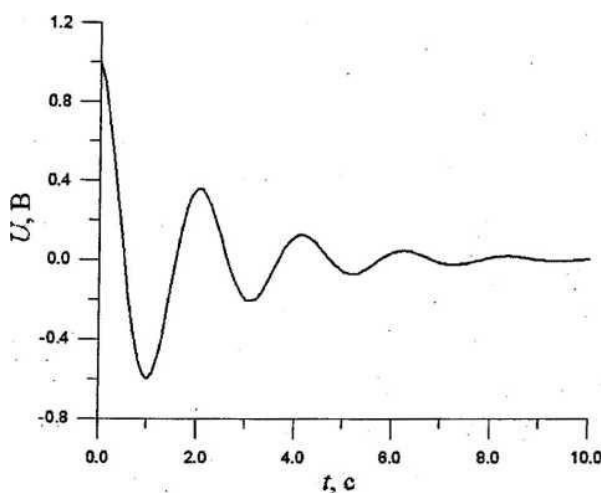
$$U(t) = e^{-0,5t} \cos(3t) \quad (1)$$

#### 4.2.2.4 Оформление рисунков

Рисунки выполняются на принтере или от руки тушью или карандашом. Допускается вклеивание фотографий, осциллограмм, ксерокопий сложных схем или чертежей.

Нумерация рисунков является сквозной по всем главам записки. Нумерация обязательна для всех рисунков без исключения.

Рисунок выравнивается по центру страницы. Под ним обязательно делается подрисуночная подпись, включающая его номер, название и, если это необходимо, расшифровки использованных обозначений. Номер рисунка состоит из арабских цифр и предваряется словом «Рис.». После номера ставится точка, после которой следует название рисунка. Точка после названия не ставится. Необходимые пояснения к рисунку располагаются под этой подписью. Ссылка на рисунок в тексте состоит из слова «рис.» и его номера.



Крупные рисунки, занимающие более половины страницы, размещаются на отдельных страницах. Мелкие рисунки могут размещаться между абзацами текста. В этом случае они отделяются от текста сверху и снизу пропуском одной пустой строки.

В качестве примера на рис. 1. показан график функции заданной формулой (1).

#### 4.2.2.5. Оформление таблиц

Нумерация таблиц является сквозной по всем главам работы. Все таблицы должны иметь номер и название. Номер таблицы выравнивается по правому краю страницы, он состоит из арабских цифр и предваряется словом «Таблица», которое отделяется от цифр пробелом. Название таблицы пишется на следующей строке. Точка после названия не ставится. Ссылка на таблицу в тексте состоит из слова «табл.» и ее номера. В таблице необходимо указывать размерности содержащихся в ней величин.

Крупные таблицы, занимающие более половины страницы, размещаются на отдельных страницах работы. Мелкие могут размещаться между абзацами текста. В этом случае они отделяются от текста сверху и снизу пропуском одной пустой строки.

В качестве примера в табл. 1. приведены значения первых пяти локальных максимумов функции  $U(t)$ , заданной формулой (1). График этой функции показан на рис. 1.



Пример оформления таблицы

| Номер максимума кривой $U(t)$ | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $U$ , В                       | 1,0000 | 0,3558 | 0,1248 | 0,0438 | 0,0154 |

#### 4.2.2.6 Оформление ссылок на литературу и другие источники информации

Ссылка на какой-либо источник информации выполняется в виде его номера в библиографическом списке, приведенном в конце работы, заключенного в квадратные скобки. Например [1]. Для организации ссылок по некоторым разделам текста необходимо указывать порядковый номер литературного источника и страницу, например [25, с. 8].

Источники в библиографическом списке располагаются **в алфавитном порядке**: сначала располагаются русскоязычные издания (от А до Я по фамилии первого автора), далее в алфавитном порядке располагаются все иностранные издания.

В списке приводятся следующие сведения:

О книге – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, название издательства, год издания, объем в страницах.

О журнальной статье – фамилии и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, номер и год выпуска, номера страниц, на которых она напечатана.

Ниже приведены примеры описания изданий в библиографическом списке. Здесь [1] – книга, имеющая более 3 авторов, [2] – книга, имеющая не более 3 авторов, [3] – статья в журнале, [4; 5] – сайт в Интернет.

1. Физико-математические основы техники и электрофизики высоких напряжений. Учебное пособие для вузов / В.В. Базуткин, К.П. Кадомская, Е.С. Колечицкий и др. Под ред. К.П. Кадомской. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 416 с.

2. Белогловский А.А., Пашинин И.В. Методы расчета электрических полей в примерах

и задачах: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 84 с.

3. Верещагин И.П., Белогловский А.А. Физико-математическое моделирование импульсной стримерной короны в воздухе // Электричество. № 2. 2005. С. 18—30.

4. Официальный сайт ВГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tvn-moscow.ru/> (дата обращения: 20.10.2019).

#### 4.2.2 Рекомендации по оформлению презентаций

Электронная презентация – электронный документ, представляющий собой набор слайдов, предназначенных для демонстрации результатов проделанной работы. Целью презентации является визуальное представление замысла автора, актуальности тематики работы, её содержания и сделанных по её результатам выводов. Это представление должно быть максимально удобным для восприятия.

##### **Схема презентации**

- титульный слайд;
- цели и задачи работы;

-основная часть: краткое изложение использованных методов и полученных результатов;

- выводы;

### **Требования к оформлению слайдов:**

Титульный слайд

Презентация начинается со слайда, содержащего:

- название работы (доклада) в строгом соответствии с ее формулировкой на титульном листе выпускной работы;
- Фамилию, Имя, Отчество автора;
- номер учебной группы;
- учёную степень, должность, Фамилию И.О. научного руководителя и консультантов (если они есть);

Эти элементы обычно выделяются более крупным шрифтом, чем основной текст презентации. Используется монотонный фон или фон в виде мягкого градиента с соблюдением читаемости элементов текста.

### **Общие требования**

Формат слайдов презентации 4:3.

Средний расчет времени, необходимого на презентацию: магистры – до 12 минут.

Дизайн презентации должен быть простым и лаконичным. Без необходимости не следует использовать в качестве фона слайдов рисунки или фотографии. Оформление слайда не должно отвлекать внимание слушателей от его содержательной части. Необходимо учитывать сочетаемость фона и текста по цвету.

Каждый слайд должен иметь заголовок.

Все слайды презентации следует оформлять в едином стиле, используя одинаковый фон, шрифты и их цвета, а также, по возможности, размеры и оформление шрифтов в заголовках и основном тексте слайдов.

Логика представления информации на слайдах презентации должна соответствовать логике ее изложения в докладе.

Информационных блоков<sup>1</sup> на слайде не должно быть слишком много. Как правило, их должно быть 3: заголовок слайда и, например, 2 изображения с поясняющими подписями или 2 блока тезисов доклада.

Завершать презентацию следует кратким резюме, содержащим ее основные положения, важные данные, прозвучавшие в докладе, выводы и т.д., а также благодарностью зрителям и слушателям (текст «Спасибо за внимание!»).

### **Оформление заголовков**

Назначение заголовка – однозначное информирование аудитории о содержании слайда. В заголовке нужно отразить основную мысль слайда.

Все заголовки должны быть выполнены в едином стиле (цвет, шрифт, его размер и начертание).

Текст заголовков должен быть размером 30-36 пунктов (возможно, полужирный).

Точка в конце заголовков не ставится.

---

<sup>1</sup> Здесь и далее под информационным блоком понимается связанный общей идеей и местом расположения на слайде массив информации. Например, это может быть рисунок с заголовком и поясняющей его подписью.

### ***Выбор шрифтов***

Для оформления презентации следует использовать стандартные, широко распространенные шрифты, такие как Arial, Tahoma, Verdana, Times New Roman.

Размер шрифта для информационного текста — 22-26 пунктов. Шрифт менее 20 пунктов плохо читается при проекции на экран. Чрезмерно крупный размер шрифта затрудняет беглое чтение текста.

При создании слайда необходимо помнить о том, что резкость изображения на большом экране обычно ниже, чем на мониторе. Прописные буквы воспринимаются хуже, чем строчные.

Полужирный шрифт, курсив и прописные буквы используйте только для выделения.

#### **Стиль изложения**

На слайдах следует использовать минимум текста. Не следует размещать на одном слайде много текстовой информации. Учитывайте, что текстовая информация воспринимается зрителями презентации хуже, чем графическая.

Не дублируйте на слайде текст Вашего доклада, лучше поместите туда его важные тезисы, акцентируя на них внимание в процессе доклада. Показ презентации на экране – это вспомогательный инструмент для демонстрации его графической части.

Текст на слайдах и в информационных блоках рекомендуется форматировать по ширине.

На слайдах не следует использовать анимацию текста и графики без острой необходимости, обусловленной содержанием Вашей работы. Если же логика доклада требует применения анимации, то рекомендуется использовать самые простые её эффекты, например, медленного исчезновения или возникновения полосами, но и они должны применяться в меру. В случае использования анимации, целесообразно применять её целиком к информационным блокам и выводить их на слайд постепенно для более наглядной иллюстрации полученных Вами результатов. Использовать автоматическую смену слайдов и эффектов анимации нужно очень осторожно. При этом тщательно согласуйте время произнесения доклада и его частей с продолжительностью показа соответствующих слайдов и их информационных блоков.

#### **Оформление графической информации, таблиц и формул**

Иллюстрации (рисунки, фотографии, графики, диаграммы), таблицы и формулы призваны дополнить текстовую информацию или передать ее более наглядно. Нужно избегать в презентации рисунков, не несущих смысловой нагрузки, если они не являются частью стиля её оформления.

Иллюстрации и таблицы должны иметь заголовки. Иллюстрации необходимо также сопровождать поясняющим текстом, помогающим однозначно идентифицировать и правильно воспринять представленную на них информацию.

Если приводимые в презентации графики содержат более одной кривой, то они обязательно должны содержать легенду, позволяющую однозначно их идентифицировать. Не следует без крайней необходимости приводить на одном графике более 4-5 кривых, иначе их будет сложно идентифицировать.

На графиках для однозначной цветовой идентификации кривых следует использовать яркие, чётко различимые и отличные друг от друга цвета. Учитывайте, что на проекционном экране качество изображения, скорее всего будет существенно уступать картинке на мониторе.

На одном слайде не следует приводить больше 2 графиков или других изображений. Предел – это 4 изображения. При большем их количестве изображения будет сложно разобрать.

Иллюстрации, таблицы, формулы, позаимствованные из работ, не принадлежащих автору, должны иметь ссылки на публикацию-первоисточник. Используя формулы желательно не отображать всю цепочку решения, а оставить общую форму записи и результат. На слайды выносятся только самые важные формулы, величины, значения.

### **4.3 Порядок сдачи и защиты курсового проекта**

Защита курсового проекта является формой промежуточной аттестации по дисциплине.

Завершённый курсовой проект, оформленный в соответствии с требованиями, подписывается студентом на титульном листе и сдаётся преподавателю для проверки. Прошедшая проверку работа, в случае наличия недостатков, не допускается до защиты до их устранения. Прошедшая проверку работа, соответствующая требованиям к содержанию и оформлению, допускается к защите.

Защита курсового проекта проводится не позднее одного рабочего дня до дня консультации к экзамену по данной дисциплине. Защита курсового проекта предполагает ответы на вопросы комиссии.

### **4.4 Общие критерии оценки курсового проекта**

Методика оценки защиты курсового проекта:

- курсовой проект считается защищенным на оценку «Отлично», если студент полностью проработал все разделы и выполнил все пункты задания курсового проекта, показал при ответах на вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для проведения практических расчетов и решения задач;

- курсовой проект считается защищенным на оценку «Хорошо», если студент в проработал все разделы курсового проекта и показал при ответах на вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, и может применять свои знания для проведения практических расчетов и решения задач, но при этом допускает не принципиальные ошибки;

- курсовой проект считается защищенным на оценку «Удовлетворительно», если в процессе защиты выявились существенные и даже грубые ошибки, допущенные при выполнении задания, но студент показал при ответах на вопросы, что в основном владеет материалом изученной дисциплины и смог объяснить и наметить пути исправления допущенных ошибок

- курсовой проект считается защищенным на оценку «Неудовлетворительно», если в процессе защиты выявились существенные и даже грубые ошибки, допущенные при выполнении задания, при этом студент показал при ответах на вопросы экзаменаторов, что не владеет материалом изученной дисциплины, не может применять свои знания для проведения практических расчетов и не смог объяснить и наметить пути исправления допущенных ошибок.



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**Институт  
Кафедра**

**Электроэнергетики**  
Техники и электрофизики  
высоких напряжений

**Курсовой проект**

**по дисциплине**  
**«Высоковольтные электротехнологии на основе сильных**  
**электрических полей»**

**Тема «Расчет степени очистки газов в пластинчатом**  
**электрофилтре»**

**СТУДЕНТ**

\_\_\_\_\_  
(подпись) / (Фамилия и инициалы)

**Группа**

\_\_\_\_\_  
(номер учебной группы)

**Руководитель** \_\_\_\_\_

**ФИО**

**Консультант** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
оценка

\_\_\_\_\_  
дата

\_\_\_\_\_  
подпись, ФИО члена комиссии

\_\_\_\_\_  
подпись, ФИО члена комиссии

**Москва, 2021**

### ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

**Общее описание.** На основе приведенных ниже исходных данных произвести расчет аналитически и численно эффективности очистки газов в пластинчатом электрофилт্রে. По результатам расчетов произвести анализ влияния исходных параметров для проектирования.

Исходные данные для расчета (табл. 1): вид питания (постоянное, знакопеременное (ЗПП), импульсное (ИП) напряжение), напряжение питания (для импульсного питания максимальное и среднее)  $U$ ; время приложения напряжения заданной полярности при ЗПП  $\tau_{\pm}$ ; начальное напряжение  $U_0$ ;  $I$  – ток одного поля электрофилтра; межэлектродное расстояние  $H$ ; расстояние между коронирующими электродами  $d$ ; радиус коронирующего электрода  $r_0$ ;  $S_{oc}$  – площадь осадительных электродов одного поля;  $L_1$  – длина одного поля электрофилтра;  $n$  – число полей;  $S_a^*$  – относительная площадь активной зоны;  $T$  – температура газа;  $\mu$  – вязкость газа;  $u_{cp}$  – скорость газа;  $k_u$  – коэффициент неравномерности скоростей газа;  $(a_{50B})_{cp}$  – средневесовой медианный радиус частиц;  $\sigma$  – стандартное отклонение радиусов;  $k_{yn}$  – коэффициент уноса частиц при встряхивании;  $k_{\tau}$  – коэффициент, учитывающий более быстрое увеличение, чем  $U_{max}$  зарядов частиц при импульсном питании и зависящий от длительности импульса (при уменьшении длительности  $\tau_{имп}$   $k_{\tau}$  растет).

**Задание.** Исходные сведения для проектирования:

- Произвести «вручную» расчет степени очистки газа для базового варианта электрофилтра.
- Составить программу расчета степени очистки газа на ЭВМ.
- Рассчитать степень очистки газа электрофилтром,
- На основе расчетных данных сделать заключение о влиянии исходных параметров.

Для расчета степени очистки газа в электрофилт্রে общепринятой является методика определения степени очистки различных фракций пыли с последующим усреднением по известной функции распределения частиц по размерам. Эта операция требует численного интегрирования на ЭВМ.

Аналитическое выражение для полной степени очистки может быть получено при усреднении непосредственно исходного уравнения, описывающего процесс осаждения частиц. В результате интегрирования усредненного уравнения, в предположении, что функция распределения частиц по размерам в любом сечении остается логарифмически

нормальной (справедливость этого допущения доказана), приходим к следующему выражению степени очистки газа (без учета уноса при встряхивании осадительных электродов):

$$\begin{aligned} \eta_{б.у.} = & 1 - S_a^* \frac{a_a - 1 + \sqrt{1 + 2 \frac{a_a - 1}{a_a^{3/2}} P_{уд}}}{a_a \left( 1 + 2 \frac{a_a - 1}{a_a^{3/2}} P_{уд} \right)} \times \\ & \times \exp \left( - \frac{\sqrt{1 + 2 \frac{a_a - 1}{a_a^{3/2}} P_{уд}}}{a_a - 1} - P_d \right) - \\ & - (1 - S_a^*) \frac{a_a - 1 + \sqrt{1 + \frac{a_a - 1}{2a_a^{3/2}} P_{уд}}}{a_a \left( 1 + \frac{a_a - 1}{2a_a^{3/2}} P_{уд} \right)} \times \\ & \times \exp \left( - \frac{\sqrt{1 + \frac{a_a - 1}{2a_a^{3/2}} P_{уд}}}{a_a - 1} - 0,5P_d \right). \end{aligned} \quad (1.1)$$

Соотношение (1.1) получено в предположении о равномерном перемешивании частиц по сечению межэлектродного промежутка и отсутствии обратной короны с осажденного слоя. Второе и третье слагаемые дают вклад в унос частиц соответственно через активную и полуактивную зоны.

Здесь  $a_a = \exp(\ln^2 \sigma)$  – параметр, характеризующий степень полидисперсности частиц;  $P = \frac{\omega L_1 n}{u_{ср} H k_n}$  – параметр Дейча;  $\omega$  – скорость дрейфа, вычисленная при радиусе частиц, равной среднемедианному весовому  $(a_{50в})_{ср}$

$$\omega = \frac{E_{ос} q}{6\pi\mu(a_{50в})_{ср}}, \quad (1.2)$$

где  $E_{ос}$  – рассчитывается по формуле (1.9) при усредненном по времени напряжении  $U_{ср}$ .

Индексы «уд» и «д» показывают, что заряд а следовательно, и скорость дрейфа и параметр  $P$  вычисляются при зарядах частиц, вычисленных по механизмам ударного фузионного заряжения соответственно по формулам

$$q_{уд} = 12\pi\varepsilon_0\xi(a_{50В})^2_{ср} E_{ос} \frac{U_{max}}{U_{ср}} k_{\tau}; \quad (1.3)$$

$$q_d = 32\pi\varepsilon_0\xi \frac{kT}{e} (a_{50В})_{ср}; \quad (1.4)$$

где  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – заряд электрона.

При питании постоянным или знакопеременным напряжением после подстановки (1.3) и (1.4) в (1.2) получаем

$$\omega_{уд} = \xi \frac{2\varepsilon_0(a_{50В})_{ср} E_{ос}^2}{\mu} \frac{U_{max}}{U_{ср}} k_{\tau};$$

$$\omega_d = \xi \frac{16\varepsilon_0 kT E_{ос}}{3\mu e},$$

$\xi$  – коэффициент недозарядки частиц, определяемый для различных форм питающего напряжения следующим образом:

1. При питании постоянным и импульсным напряжением:

$$\xi = 1 - \frac{\ln(t^* + 1)}{t^*}, \quad (1.5)$$

где

$$t^* = \frac{L_1 I}{S_{ос} u_{ср} 4\varepsilon_0 E_{ос}} \quad (1.6)$$

– отношение времени пребывания частиц в поле электрофильтра к постоянной времени зарядки частиц. Здесь учтено, что в результате ионизационных процессов, обусловленных суммарным полем объемного заряда частиц в междупольном пространстве, происходит разрядка последних.

2. При питании знакопеременным напряжением для случая, когда времена приложения и амплитуды напряжений обеих полярностей равны, имеем

$$\xi = 1 - \frac{\ln(1,8t^* + 1)}{t_1^*}, \quad (1.7)$$

где в качестве  $t_1^*$  берется меньшее из двух времен: времени пребывания частицы в поле электрофильтра, рассчитанного по формуле (1.6), и времени приложения напряжения каждой полярности, определенной по формуле

$$t_{\pm}^* = \frac{\tau_{\pm} I}{S_{ос} 4\varepsilon_0 E_{ос}} \quad (1.8)$$

Напряженность у осадительного электрода рассчитывается по формуле

$$E_{ос} = \frac{U_{ср}}{H} \operatorname{sh}\left(\frac{2\pi H}{d}\right) \psi, \quad (1.9)$$

где



$$\psi = \frac{\pi H}{d} \frac{\sqrt{1 + c \cdot \ln(r^2 + \sqrt{1 + r^4})}}{2U^* r^2 \left( \frac{\pi H}{d} - \ln\left(\frac{2\pi r_0}{d}\right) \right)}.$$

Здесь

$$c = \alpha \pi^2 \left[ (U^* - 1) \left( \frac{\pi H}{d} - \ln\left(\frac{2\pi r_0}{d}\right) \right) \right]^\beta \left( \frac{d}{\pi H} \right)^2;$$

$$r^2 = \operatorname{sh}^2 \frac{\pi H}{d};$$

$$\beta = -0,14 \frac{H}{d} + 1,6;$$

$$\alpha = 0,115 \frac{d}{H} + 0,125;$$

$$U^* = \frac{U_{\text{ср}}}{U_0}.$$

После вычисления значения  $\eta_{\text{б.у.}}$  по формуле (1.1) определяется степень очистки газа с учетом уноса пыли при встряхивании электродов:

$$\eta = 1 - \exp[k_{\text{ун}} \ln(1 - \eta_{\text{б.у.}})].$$

Руководитель проекта \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Дата выдачи задания " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021г.

Таблица 1. Исходные данные к курсовому проекту.

| Обозначение параметров |              | $U$<br>$/U_{max}$ | $\tau_{\pm}$ | $U_0$ | $I$ | $H$  | $d$ | $r_0$ | $S_{oc}$       | $L_1$ | $n$ | $S_a^*$ | $T$ | $\mu$                                 | $(u)_{cp}$ | $k_u$ | $a_{50b}$ | $\sigma$ | $k_{yn}$ | $k_{\tau}$ |
|------------------------|--------------|-------------------|--------------|-------|-----|------|-----|-------|----------------|-------|-----|---------|-----|---------------------------------------|------------|-------|-----------|----------|----------|------------|
| Единицы измерения      |              | кВ                | с            | кВ    | мА  | см   | см  | см    | м <sup>2</sup> | м     | —   | —       | К   | $\frac{кг}{м \cdot с} \times 10^{-4}$ | м/с        | —     | МКМ       | —        | —        | —          |
| № вар.                 | вид пита-ния |                   |              |       |     |      |     |       |                |       |     |         |     |                                       |            |       |           |          |          |            |
| 1                      | пост         | 35                | —            | 20    | 300 | 13,7 | 18  | 0,06  | 1000           | 2,5   | 3   | 0,83    | 430 | 0,25                                  | 1,5        | 1,1   | 10        | 2        | 0,85     | —          |
| 2                      | пост         | 40                | —            | 20    | 100 | 13,7 | 18  | 0,06  | 1000           | 2,0   | 3   | 0,91    | 450 | 0,2                                   | 1,2        | 1,2   | 8         | 2,5      | 0,9      | —          |
| 3                      | пост         | 33                | —            | 20    | 50  | 16   | 18  | 0,06  | 700            | 2,0   | 4   | 0,83    | 410 | 0,3                                   | 1,4        | 1,2   | 9         | 2,2      | 0,85     | —          |
| 4                      | пост         | 36                | —            | 18    | 80  | 16   | 18  | 0,06  | 900            | 2,5   | 4   | 0,83    | 450 | 0,3                                   | 1,5        | 1,2   | 7         | 2,3      | 0,9      | —          |
| 5                      | пост         | 38                | —            | 18    | 70  | 13,7 | 18  | 0,06  | 600            | 1,5   | 4   | 0,83    | 430 | 0,25                                  | 1,3        | 1,15  | 8         | 2,4      | 0,9      | —          |
| 6                      | ЗПП          | 40                | 1,6          | 20    | 100 | 13,7 | 18  | 0,06  | 700            | 2,0   | 3   | 0,91    | 400 | 0,2                                   | 1,2        | 1,2   | 8         | 2,5      | 0,9      | —          |
| 7                      | ИП           | 28/40             | —            | 20    | 30  | 16   | 18  | 0,06  | 700            | 2,0   | 4   | 0,83    | 410 | 0,3                                   | 1,4        | 1,2   | 9         | 2,2      | 0,85     | 1,4        |