

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра строительства,  
энергетики и транспорта**

Методические указания  
к расчетно-графической работе

по дисциплине: **Электрические системы и сети**

для направления подготовки (специальности)

13.03.02

код направления подготовки

«Электроэнергетика и электротехника». Профиль – «Электроснабжение»

наименование направления подготовки

Для всех форм обучения

код и наименование специальности, форма обучения

Мурманск

2021

Составил: Васильева Елена Витальевна, доцент кафедры электроэнергетики Мурманского государственного технического университета

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры СЭиТ 01.07. 2021 г., протокол № 05

Методические указания составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 03.09.2015 № 955, учебного плана в составе ОПОП по направлению подготовки/специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение».

Процесс изучения дисциплины «Электроэнергетические системы и сети» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО:

ОПК-3. Способность использовать методы анализа и моделирования электрических цепей

ПК-6. Способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: структуру современных электрических сетей; требования, предъявляемые к электрическим сетям; режимы работы современных электрических сетей; способы регулирования напряжения в электрических сетях.

Уметь: выполнять выбор оборудования для современных электрических сетей; составлять математические модели основных элементов современных электрических сетей; выполнять расчёт параметров математических моделей, схем замещения основных элементов современных электрических сетей; выполнять расчёт режимов современных электрических сетей на основе составленных математических моделей; выполнять расчёт потерь мощностей в электрических сетях, выполнять механический расчет проводов и тросов ВЛ.

Владеть: анализом результатов, получаемых в результате расчёта режимов работы электрических сетей.

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

1 .ВВЕДЕНИЕ	4
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ	5
3. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	20

## ВВЕДЕНИЕ

Расчётно-графическая работа (РГР) выполняется студентами в рамках самостоятельной работы по определенной теме с целью закрепления знаний и умений, полученных в результате изучения курса «Электроэнергетические системы и сети».

При выполнении расчетно-графической работы необходимо произвести механический расчет провода и проверку габарита воздушной линии. Марка провода, тип опоры, напряжение линии, климатический район и характер местности задаются преподавателем.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ.

1. По заданному району определяем расчетные климатические условия:

- район по гололеду
- район по скоростному напору ветра
- минимальную температуру
- максимальную температуру
- среднегодовую температуру

2. На основании исходных данных производим предварительный выбор промежуточной опоры с указанием ее геометрических размеров и габаритного пролета, определить расчетный пролет.

$$L_{\text{расч}} = 0,9l_{\text{габ}}$$

3. Рассчитаем удельные нагрузки на провод.

Из таблицы физико-механических характеристик проводов находим вес одного километра провода  $P$  даН/км и диаметр провода  $d$  мм провода заданной марки .

По формулам рассчитаем удельные нагрузки, воздействующие на провод:

1. Удельная нагрузка от собственного веса провода

$$p_1 = P \cdot 10^{-3} / F \text{ даН/м.мм}^2;$$

2. Удельная нагрузка от веса гололеда на проводе

$$p_2 = \pi g_0 C_{\text{мах}} (d + C_{\text{мах}}) / F \text{ даН/м.мм}^2;$$

3. Суммарная удельная нагрузка от веса провода и гололеда

$$p_3 = p_1 + p_2 \text{ даН/м.мм}^2;$$

4. Удельная нагрузка от воздействия ветра

$$p_4 = Q_{\text{мах}} d \cdot 10^{-3} / F \text{ даН/м.мм}^2,$$

где скоростной напор ветра  $Q_{\text{мах}} = V_{\text{мах}}^2 / 16$

5. Удельная нагрузка от давления ветра при наличии на проводе гололеда

$$p_5 = 0,25 Q_{\text{мах}} (d + 2C_{\text{мах}}) \cdot 10^{-3} / F \text{ даН/м.мм}^2;$$

6. Удельная нагрузка от веса провода без гололеда , но при наличии ветра

$$p_6 = \sqrt{p_1^2 + p_4^2} \text{ даН/м.мм}^2;$$

7. Удельная нагрузка от веса провода, покрытого гололедом, и ветра

$$p_7 = \sqrt{p_3^2 + p_5^2} \text{ даН/м.мм}^2.$$

Для дальнейшего расчета выбираем наибольшую из удельных нагрузок  $p_6$  или  $p_7$ .

4. Определяем исходный режим.

В качестве исходного режима можем выбрать любой из трех режимов:

- режим наибольшей внешней нагрузки  $p_{\max}$  и температуры гололедообразования  $t_g = -5 \text{ }^\circ\text{C}$  (принято в соответствии с рекомендациями ПУЭ)

- режим минимальной температуры  $t_{\min}$  при отсутствии ветра и гололеда;
- режим среднегодовой температуры  $t_{\text{ср}}$  при отсутствии ветра и гололеда.

Предварительно примем за исходный - режим наибольшей внешней нагрузки. Запишем уравнение состояния провода. Вычислим левую часть уравнения, подставив данные исходного режима

$$C = [\sigma_{\max}] + \alpha E t_g - p_{\max}^2 l^2 E / 24 [\sigma_{\max}]^2$$

В правую часть уравнения состояния провода подставим параметры режима низшей температуры  $p_1$ ,  $t_{\min}$ . Определим коэффициенты  $A$  и  $B$  неполного кубического уравнения

$$A = \alpha E t_{\min} - C \quad B = - p_1^2 l^2 E / 24 .$$

Решение этого уравнения даст величину механического напряжения в проводе в режиме низшей температуры  $\sigma_{\min}$ .

Затем в правую часть уравнения состояния подставим параметры режима среднегодовой температуры  $p_1$ ,  $t_{\text{ср}}$ .

Коэффициенты  $A$  и  $B$  неполного кубического уравнения будут соответственно равны

$$A = \alpha E t_{\text{ср}} - C \quad B = - p_1^2 l^2 E / 24$$

Решение этого уравнения даст величину механического напряжения в проводе в режиме среднегодовой температуры  $\sigma_{\text{ср}}$

Произведем проверку условия механической прочности провода

в режиме наибольшей внешней нагрузки

$$\sigma_{\max} = [\sigma_{\max}];$$

в режиме минимальной температуры

$$\sigma_{\min} < [\sigma_{\min}];$$

в режиме средней температуры

$$\sigma_{\text{ср}} < [\sigma_{\text{ср}}].$$

Если условия выполняются, следовательно, исходный режим выбран правильно. Если условия не выполняются, то за исходный режим принимается другой из режимов и расчет повторяется. В одном из трех вариантов напряжение в проводе будет равно допустимому напряжению, а в двух других режимах напряжения в проводе будут обязательно меньше допустимых.

5. Произведем расчет монтажных стрел провеса провода.

Для двух значений температуры  $t_{\min}$  и  $t_{\text{ср}}$  величины механического напряжения в проводе вычислены выше. Выполним расчет механического напряжения в проводе для режима высшей температуры  $t_{\max}$ .

В правую часть уравнения состояния провода подставим параметры режима высшей температуры  $p_1$ ,  $t_{\max}$ . Коэффициенты  $A$  и  $B$  неполного кубического уравнения будут соответственно равны

$$A = \alpha E t_{\max} - C \quad B = -p_1^2 l^2 E / 24$$

Неполное кубическое уравнение для режима высшей температуры будет иметь вид

$$\sigma t_{\max}^3 + A \sigma t_{\max}^2 + B = 0.$$

Решение этого уравнения дает величину механического напряжения в проводе в режиме высшей температуры  $\sigma t_{\max}$ .

Для трех значений температуры  $t_{\min}$ ,  $t_{\text{ср}}$ ,  $t_{\max}$  вычислим стрелы провеса провода по формулам:

$$f_{t_{\min}} = p_1 l^2 / 8\sigma t_{\min};$$

$$f_{t_{\text{ср}}} = p_1 l^2 / 8\sigma t_{\text{ср}};$$

$$f_{t_{\max}} = p_1 l^2 / 8\sigma t_{\max}.$$

По полученным значениям стрел провеса построим монтажный график  $f = f(t)$ , показанный на рис. 1

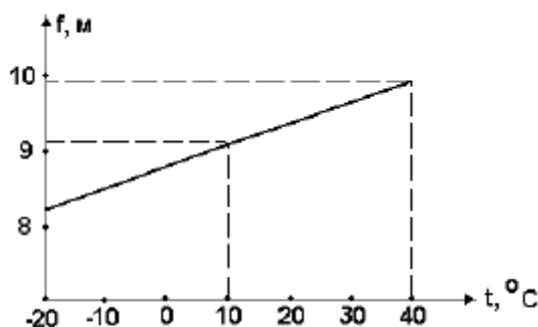


Рис.1 Монтажный график сталеалюминиевого провода

5. Произведем проверку габарита воздушной линии.

Для проверки габарита воздушной линии необходимо знать

максимальное значение стрелы провеса провода  $f_{\max}$ . Максимальная стрела провеса провода имеет место в одном из двух режимов: в режиме высшей температуры или в режиме максимального гололеда без ветра.

Выполним расчет механического напряжения в проводе и его стрелы провеса для режима, имеющего  $f_{\max}$ . В правую часть уравнения состояния провода подставим параметры этого режима. Определим коэффициенты  $A$  и  $B$  неполного кубического уравнения.

Решение этого уравнения дает величину механического напряжения в проводе в режиме, имеющего  $f_{\max}$ . Определим стрелу провеса провода в этом режиме.

В ПУЭ определим габарит воздушной линии с учетом заданного напряжения и характера местности  $h_g$ . Учитывая геометрические размеры предварительно выбранной опоры и длину гирлянды изоляторов, проверим условие

$$h_{п-з} - \lambda - f_{\max} \geq h_g$$

Если условие выполняется, следовательно, опора выбрана правильно.

Приложение 1. Задание для расчетно-графической работы.

№ вариан.	Марка провода	Тип опоры	Напряжение кВ	Климатический район	Характер местности
1	АС-70	железобетонная	110		населенная
2	АС-95	железобетонная	110		ненаселенная
3	АС-240	стальная	110		труднодоступная
4	АС-240	железобетонная	220		населенная
5	АС-240	стальная	220		ненаселенная
6	АС-300	стальная	220		труднодоступная
7	АС-120	железобетонная	110		населенная
8	АС-150	стальная	110		ненаселенная
9	АС-185	стальная	110		труднодоступная
10	АС-240	стальная	220		населенная
11	АС-300	стальная	220		ненаселенная
12	АС-400	стальная	220		труднодоступная

Примечание. Климатические районы выбираются из ПУЭ студентами самостоятельно для заданной географической области.

## Список рекомендуемой литературы

1. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики. – М.: КноРус, 2013.-278 с. ил.
2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии. – М.:КноРус, 2015.-724 с. ил.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение. – М.: Академия, 2013.-672 с. ил.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение. – М.: Академия, 2013.-672 с. ил.
5. Шаров Ю.В. Электроэнергетика. – М.: Инфра-М, 2014.-384 с. ил.
6. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник. – М.:Инфра-М, 2014. – 416 с. ил.
7. Сибикин Ю.Д. Технология энергоснабжения: Учебник – 3-е изд., перераб. и доп. – М.:Форум, 2015. – 352 с. ил.
8. Почаевец В.С. Электрические подстанции: Учебник. – М.:Маршрут, 2012. – 492 с. ил.
9. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. – СПб.:Лань, 2013. – 432 с. ил.
10. Сибикин Ю.Д. Электрические подстанции. – М.:РадиоСофт, 2014. – 141 с. ил.
11. Исмагилов Ф.Р. Основные вопросы проектирования воздушных линий электропередач: Учебное пособие. – М.:Машиностроение, 2015. – 211 с. ил.
12. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. 2-е изд. – М.:Юрайт, 2014. – 179 с. ил.
13. Ушаков В.Я. Электроэнергетические системы и сети. – М.:Юрайт, 2014. – 446 с. ил.
14. ПУЭ из.7