



Некоммерческое
акционерное
общество

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра электрических
станций и
электроэнергетических
систем

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Методические указания к выполнению
РГР для специальности 6М071800 – Электроэнергетика
(профильная магистратура)

Алматы 2019

СОСТАВИТЕЛИ: Ж.К. Оржанова. Механические характеристики и расчет элементов линий электропередачи. Методические указания к выполнению РГР для специальности 6М071800 – Электроэнергетика (профильная магистратура). – Алматы: АУЭС, 2019. – 23 с.

Методические указания предназначены для выполнения расчетно-графических работ по дисциплине «Механические характеристики и расчет элементов линий электропередачи» и содержат: задания, методические указания к выполнению РГР, примеры расчета, контрольные вопросы, а также список необходимой литературы.

Методические указания предназначены для студентов профильной магистратуры специальности 6М071800 – Электроэнергетика.

Ил.2, табл.14, библиогр. – 5 назв.

Рецензент к.т.н., доцент каф. ЭиВИЭ

Казанина И.В.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2019 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2019 г.

1 Общие положения

При выполнении расчетно-графических работ магистранты изучают основы проектирования механической части воздушных ЛЭП, получают навыки пользования справочными материалами и нормативными документами, а также навыки выполнения самостоятельных инженерных расчетов. В методических указаниях рассмотрены основные этапы проектирования механической части воздушных ЛЭП, приведены краткие теоретические сведения по конструкции проводов и грозозащитных тросов, различных типов опор, их фундаментов, изоляторов и линейной арматуры, основные формулы а также способы расчета этих конструкций. В приложении приведены необходимые справочные и информационные материалы, для выполнения расчетно-графических работ.

Цель расчетно-графических работ – привить навыки самостоятельной работы, выявить знания студентов по данной дисциплине и умение применять эти знания в дальнейшей профессиональной деятельности. В процессе выполнения РГР студент должен самостоятельно работать с учебной и научно-технической литературой, уметь обобщать полученные знания, делать обоснованные выводы.

Методическая разработка включает три расчетно-графические работы, в каждую из которых включены по одному заданию и контрольные вопросы.

Исходные данные для выполнения РГР строго индивидуальны. Каждый студент определяет свой вариант задания в зависимости от учебного года изучения данной дисциплины по трем признакам – по последней и предпоследней цифрам шифра и первой букве своей фамилии.

Согласно таблице 1.1, по последней цифре шифра (номера зачетной книжки) с учетом года изучения дисциплины устанавливается номер варианта исходных данных первой группы.

Т а б л и ц а 1.1 – Исходные данные первой группы

Учебный год	Последняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2019/2020	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
2020/2021	II	I	IV	III	VI	VII	VIII	V	X	IX
2021/2022	V	IV	III	II	I	X	IX	VIII	VII	VI
2022/2023	I	II	V	IV	III	VI	X	VII	IX	VIII
2023/2024	IX	VIII	IX	VI	VII	I	II	IV	III	V

Аналогично, согласно таблице 1.2, устанавливается по предпоследней цифре номера зачетной книжки номер варианта исходных данных второй группы и согласно первой буквы фамилии по таблице 1.3 – номер варианта исходных данных третьей группы.

Т а б л и ц а 1.2 – Исходные данные второй группы

Учебный год	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2019/2020	X	VIII	IX	VI	VII	I	II	IV	III	V
2020/2021	II	I	IV	III	VI	VII	VIII	V	X	IX
2021/2022	I	II	V	IV	III	VI	X	VII	IX	VIII
2022/2023	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
2023/2024	V	IV	III	II	I	X	IX	VIII	VII	VI

Вариант контрольных вопросов в каждой РГР принимается по последней цифре шифра независимо от года обучения.

Т а б л и ц а 1.3 – Исходные данные третьей группы

Учебный год	Первая буква фамилии									
	А, Л, Х	Б,М, Ц	В,Н,Ч	Г,О,Ш	Д, П,Щ	Е,Р,Э	Ж,С,Ю	З,Т,Я	И,У,	К, Ф,
2019/2020	IX	VIII	X	VI	VII	I	II	IV	III	V
2020/2021	II	I	IV	III	VI	VII	VIII	V	X	IX
2021/2022	I	II	V	IV	III	VI	X	VII	IX	VIII
2022/2023	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
2023/2024	V	IV	III	II	I	X	IX	VIII	VII	VI

Объем и содержание РГР и графической части должны быть оформлены в соответствии с требованиями [1].

2 Расчетно-графическая работа №1. Расчет проводов и тросов на механическую прочность

2.1 Условие задания

Выполнить расчет проводов ВЛ на механическую прочность в следующем порядке:

2.1.1 Определить удельные нагрузки $\gamma_1 - \gamma_7$, действующие на провода и тросы.

2.1.2 Рассчитать критические пролеты $l_{к1}, l_{к2}, l_{к3}$. По соотношению критических пролетов и расчетного пролета по таблице 2.1 определить исходный режим для расчета провода.

2.1.3 По уравнению состояния провода рассчитать напряжения в проводе для режимов среднегодовой температуры – $\sigma_{ср}$, режима низшей температуры – σ_{\min} , наибольшей нагрузки – σ_{\max} .

2.1.4 Проверить условия механической прочности проводов:

$$\sigma_{\text{ср}} \leq [\sigma_{\text{ср}}]; \sigma_{t \text{ min}} \leq [\sigma_{t \text{ min}}]; \sigma_{\gamma \text{ max}} \leq [\sigma_{\gamma \text{ max}}] \quad (2.1)$$

2.1.5 По уравнению состояния провода рассчитать напряжения в проводе для режимов гололеда без ветра – $\sigma_{\text{гол}}$, высшей температуры – $\sigma_{t \text{ max}}$, грозового режима – $\sigma_{\text{ср}}$.

Т а б л и ц а 2.1 – Условия выбора исходного режима

Соотношение $l_{\kappa 1}, l_{\kappa 2}, l_{\kappa 3}$	Соотношение l и l_{κ}	Параметры исходного режима
$l_{\kappa 1} < l_{\kappa 2} < l_{\kappa 3}$	$l < l_{\kappa 1}$	$[\sigma_{t \text{ min}}], \gamma_1, t_{\text{min}}$
	$l_{\kappa 1} < l < l_{\kappa 3}$	$[\sigma_{\text{ср}}], \gamma_1, t_{\text{ср}}$
	$l > l_{\kappa 3}$	$[\sigma_{\gamma \text{ max}}], \gamma_{\text{max}}, t_{\text{гол}}$
$l_{\kappa 1} > l_{\kappa 2} > l_{\kappa 3}$	$l < l_{\kappa 2}$	$[\sigma_{t \text{ min}}], \gamma_1, t_{\text{min}}$
	$l > l_{\kappa 2}$	$[\sigma_{\gamma \text{ max}}], \gamma_{\text{max}}, t_{\text{гол}}$
$l_{\kappa 1}$ – мнимый	$l < l_{\kappa 3}$	$[\sigma_{\text{ср}}], \gamma_1, t_{\text{ср}}$
	$l > l_{\kappa 3}$	$[\sigma_{\gamma \text{ max}}], \gamma_{\text{max}}, t_{\text{гол}}$
$l_{\kappa 3}$ – мнимый	$l < l_{\kappa 1}$	$[\sigma_{t \text{ min}}], \gamma_1, t_{\text{min}}$
	$l > l_{\kappa 1}$	$[\sigma_{\text{ср}}], \gamma_1, t_{\text{ср}}$
$l_{\kappa 1}$ и $l_{\kappa 3}$ – мнимые	-	$[\sigma_{\text{ср}}], \gamma_1, t_{\text{ср}}$

2.1.6 Определить стрелы провеса проводов в режимах, указанных в пункте 2.1.5, по формуле:

$$f = \frac{\gamma \cdot l^2}{8 \cdot \sigma}, \quad (2.2)$$

где γ и σ – удельная нагрузка и напряжение в проводе в соответствующем режиме.

2.1.7 Проверить соблюдение требуемых расстояний от низшей точки провисания провода до земли по условию:

$$f_{t \text{ max}} \leq [f]; f_{\text{гол}} \leq [f], \quad (2.3)$$

где $[f]$ – допустимая стрела провеса провода.

Исходные данные для выполнения задания РГР №1 приведены в таблице 2.2.

Расчетные данные по сталеалюминиевым проводам, сталеалюминиевым и стальным тросам приведены в таблицах 2.3 и 2.4. Физико-механические характеристики проводов и тросов приведены в таблице 2.5.

Т а б л и ц а 2.2 – Исходные данные для выполнения РГР №1

Исходные данные												
I группы				II группы				III группы				
№ вар	$U_{ном}$, кВ	Материал опоры	n – цепей	Сечение провода	Марка грозозащитного троса	Район по		Температура, °C			$I_{доп}$, А	Длина провода в пролете
						ветру	гололеду	max	min	Среднегодовая		
1	35	Ж/б	1	70/11	ТК8	III	I	35	-39	+5,5	265	150
2	35	Металл	2	120/27	АС 70/11	I	III	35	-41	+5,0	375	200
3	110	Ж/б	2	120/19	ТК9,1	II	II	38	-35	+6,0	390	280
4	110	Ж/б	1	150/24	ТК9,1	III	III	37	-36	+7,0	450	170
5	110	Ж/б	1	185/24	ТК9,1	III	I	36	-34	+6,5	520	220
6	110	Ж/б	1	240/27	ТК9,1	II	II	35	-39	+5,5	605	250
7	110	Металл	2	120/27	АС 120/27	II	II	36	-37	+5,0	375	210
8	110	Металл	2	150/34	ТК9,1	III	III	35	-41	+5,0	450	170
9	110	Металл	2	240/32	АС 70/11	II	II	37	-36	+7,0	605	230
10	220	Ж/б	2	240/39	ТК11	III	III	36	-34	+6,5	610	190
11	220	Ж/б	1	400/51	ТК11	III	II	35	-41	+5,0	825	160
12	220	Металл	2	330/30	ТК11	III	I	36	-34	+6,5	860	240
13	220	Металл	2	400/64	ТК11	II	II	35	-39	+5,5	730	270
14	330	Ж/б	1	2x240/39	ТК11	III	III	35	-41	+5,0	1420	140
15	330	Ж/б	1	2x400/22	ТК11	II	III	37	-36	+7,0	1660	200
16	330	Металл	2	2x300/48	ТК11	II	II	36	-37	+5,0	1380	150
17	750	Металл	1	5x400/56	ТК11	III	II	37	-36	+7,0	4125	170
18	750	Металл	1	5x300/67	ТК11	II	II	38	-35	+6,0	3400	280
19	750	Металл	1	5x500/27	ТК11	II	III	36	-34	+6,5	4830	190

Т а б л и ц а 2.3 – Расчетные данные по стальным канатам

Площадь поперечного сечения, $мм^2$	Диаметр каната, $мм$	Вес 1 м каната, $даН$
38,01	8,0	0,3305
50,45	9,1	0,4385
72,95	11,0	0,6274

Т а б л и ц а 2.4 – Расчетные данные по сталеалюминиевым проводам и тросам

Номинальная площадь поперечного сечения, $мм^2$	Площадь поперечного сечения, $мм^2$	Диаметр провода, $мм$	Вес 1 м провода, $даН$
Сталеалюминиевые провода			
70/11	68/11,3	11,4	0,276
95/16	95,4/15,9	13,5	0,385
120/19	118/18,8	15,2	0,471
120/27	114/26,6	15,4	0,528
150/19	148/18,8	16,8	0,554
150/24	149/24,2	17,1	0,599
150/34	147/34,3	17,5	0,675
185/24	187/24,5	18,9	0,705
185/29	181/29,0	18,8	0,728
185/24	185/43,1	19,6	0,846
185/43	205/26,6	19,8	0,744
240/27	244/31,7	21,6	0,921
240/32	236/38,6	21,6	0,952
240/39	241/56,3	22,4	1,106
240/56	301/38,6	24,0	1,132
300/48	295/47,8	24,1	1,186
300/66	288,5/65,8	24,5	1,313
300/67	288,5/67,3	24,5	1,323
330/30	335/29,1	24,8	1,152
330/43	332/49,1	25,2	1,255
400/22	394/22,0	26,6	1,261
400/51	394/51,1	27,5	1,490
400/64	390/63,5	27,7	1,572
400/93	406/93,2	29,1	1,851
400/56	434/56,3	28,8	1,640
500/26	502/26,6	30,0	1,592
500/27	481/26,6	29,4	1,537
Сталеалюминиевые канаты			
70/72	68,4/72,2	15,4	0,755
95/141	91,2/141	19,8	1,357

Т а б л и ц а 2.5 – Физико-механические характеристики проводов и тросов

Сталеалюминиевые провода и тросы марки ТК	Коэффициент температурного линейного удлинения, $10^{-6}, 1/^\circ C$	Модуль упругости, $10^3, daH / мм^2$	Допустимое напряжение, $daH / мм^2$		Предел прочности при растяжении $\sigma_{пр}, daH / мм^2$
			при наибольшей нагрузке и низшей температуре $\sigma_2 = \sigma -$	при средне-годовой температуре $\sigma,$	
Сталеалюминиевые провода площадью поперечного сечения алюминиевой части провода, $мм^2$					
35-95 при А:С от 5,99 до 6,02	19,2	8,25	12,0	9,0	29,0
70 при А:С=0,95	14,5	13,4	27,2	20,4	69,0
95 при А:С=0,65	14,5	13,4	30,8	23,1	78,0
120 и более при А:С от 4,29 до 4,38	18,3	8,9	15,3	10,2	34,0
150-800 и более при А:С от 7,8 до 8,04	19,8	7,7	12,6	8,1	27,0
185 и более при А:С от 6,14 до 6,28	19,2	8,25	13,5	9,0	30,0
185, 300, 500 при А:С =1,46	15,5	11,4	25,4	16,9	56,5
330 при А:С= 11,51	21,0	7,45	11,7	7,8	24,0
400, 500, 1000 при А:С=17,91 и 18,08 17,85	21,2	7,04	9,6	6,4	22,0
400 и 500 при А:С=20,27 и 18,87	21,5	7,04	10,4	6,9	21,0
500 при А:С= 2,43	16,8	10,3	20,5	10,7	46,0
Стальные тросы ТК	12,0	18,5	60,0	42,0	120,0
Защищенные провода АСИ, СИП-4	23,0	6,25	11,4	8,5	29,4

2.2 Методические указания к заданию

2.2.1 Расчет удельных механических нагрузок.

Провода и тросы, подвешенные на воздушных линиях, находятся постоянно под действием вертикальной нагрузки от собственного веса. К этой нагрузке могут добавляться временные нагрузки – вертикальная от гололеда и горизонтальная от ветра, в результате чего в металле возникают напряжения на растяжение. Гололедные отложения распределяются по длине провода не вполне равномерно. Однако условно эту нагрузку считают равномерно распределенной по длине провода в рассматриваемом пролете.

Распределение ветрового давления по длине пролета также неравномерно; эта неравномерность, возрастающая при увеличении скорости

ветра, учитывается коэффициентом неравномерности α , значение которого принимается в зависимости от скоростного напора.

Равномерно распределенная нагрузка по длине пролета на 1 км длины провода называется единичной нагрузкой и выражается в деканьютонах (daH) или килограмм-силах ($кгс$) на один метр.

В расчетах проводов удобней пользоваться не единичными нагрузками, а так называемыми удельными, или приведенными, нагрузками. Эти нагрузки получают путем деления соответствующих единичных нагрузок на сечение провода [1].

2.2.2 Определение критических пролетов.

Критические пролеты разграничивают диапазоны возможных промежуточных пролетов ВЛ, внутри которых одно из трех расчетных сочетаний климатических условий работы ВЛ является определяющим при расчете провода на механическую прочность. Эти значения находят путем решения уравнения состояния провода относительно длины пролета при известных удельных нагрузках, допускаемых напряжениях и температурах для любых двух из трех сочетаний климатических условий. В общем случае могут быть определены три критических пролета. Однако при некоторых соотношениях удельных нагрузок, допускаемых напряжений и температур в рассматриваемых климатических условиях значения длин критических пролетов могут отсутствовать (получаются мнимые члены при извлечении квадратного корня). Для наглядного обоснования выбора тех или иных климатических условий в качестве исходных при расчете провода на прочность строятся две графические зависимости изменения напряжения в проводе при среднеэксплуатационных условиях в функции длины пролета ВЛ, рассчитанного по уравнению состояния провода, принимая в одном случае исходными условием низшей температуры, а в другом - наибольшей нагрузки. При этом рассматриваются предельные значения возможных длин пролета, т.е. 0 и ∞ , и строятся прямые линии, соответствующие значениям допускаемых напряжений провода [1].

2.2.3 Расчет сталеалюминиевых проводов.

В расчетах проводов обычно принимают режимы, указанные в таблице 9. Расчетные режимы 1, 2, 3, 4, 6, 7 необходимы для проверки работы линии в нормальных условиях (при не оборванных проводах и тросах), режим 5 используется при расчете расстояний от проводов до тросов (грозовом режиме при температуре $+15^{\circ}C$).

Сочетание климатических условий, соответствующих расчетным режимам 2 и 6, необходимы для нахождения максимальной температуре, либо когда провода и тросы нагружены гололедом.

Т а б л и ц а 2.6

Расчетный режим	Сочетание климатических условий	Номер нагрузки
1	Провода и тросы покрыты гололедом, $t = -5^{\circ}C$, скоростной напор ветра $0,25 q$	7
2	Провода и тросы покрыты гололедом, $t = -5^{\circ}C$, ветра нет $q = 0$	3
3	Скоростной напор ветра q , $t = -5^{\circ}C$, гололеда нет	6
4	Среднегодовая температура t_s , ветра и гололеда нет	1
5	$t = +15^{\circ}C$, ветра и гололеда нет	1
6	Низшая температура t_{-} , ветра и гололеда нет	1
7	Максимальная температура, ветра и гололеда нет	1

Режим 6 используется для проверки проводов по допустимому напряжению в условиях наименьшей температуры, а также для определения минимальной стрелы провеса, которую нужно знать для вычисления габаритов при пересечении с инженерными сооружениями и для других целей. По расчетному режиму 4 контролируют напряжение в средних эксплуатационных условиях, чтобы оно не превышало допустимого при среднегодовой температуре. Один из режимов 3 или 1 дает максимальную внешнюю нагрузку на провода, и по нему производится проверка на допускаемое напряжение при максимальных нагрузках [1].

2.3 Пример расчета провода на механическую прочность

В качестве примера рассмотрим расчет на механическую прочность провода АС-120/19 воздушной ЛЭП напряжением 110 кВ, проходящей во II районе по гололеду ($C=10$ мм) и в III районе по ветру ($q = 50 \text{ даН} / \text{м}^2$), в населенной местности с температурами: $t_{\min} = -40^{\circ}C$; $t_{\max} = +40^{\circ}C$; $t_{cp} = 0^{\circ}C$. Линия выполнена с использованием промежуточных опор ПБ110-1. Расчетная длина пролета $l_p = 240$ м.

Из таблицы 2.4 и 2.5 выпишем физико-механические характеристики провода:

- сечение, мм^2 : алюминиевой части – 118; стальной части – 18,8; суммарное – 136,8;
- диаметр провода, мм – 15,2;
- вес провода, $\text{даН}/\text{км}$ – 471;
- модуль упругости, $\text{даН} / \text{мм}^2 = 8,25 \cdot 10^3$;
- температурный коэффициент линейного удлинения, 1/град – $19,2 \cdot 10^{-6}$;
- допустимые напряжения, $\text{даН} / \text{мм}^2$: при средней температуре – 8,7; при низшей температуре – 13,0; при наибольшей нагрузке – 13,0.

1. Определим толщину стенки гололеда на проводе и величину скоростного напора ветра.

1.1 Средняя высота подвеса проводов на опоре, м:

$$h_{cp} = \frac{14,5 + 14,5 + (14,5 + 3)}{3} - 1,3 = 14,2.$$

1.2 Допустимая стрела провеса провода, м:

$$[f] = 14,5 - 1,3 - 6,0 = 7,2.$$

1.3 Высота приведенного центра тяжести провода, м:

$$h_{np} = 14,2 - \frac{2}{3} \cdot 7,2 = 9,4.$$

1.4 Определим толщину стенки гололеда на проводе, мм:

$$C_{max} = 10,0 \cdot 1 \cdot 1 = 10,0.$$

1.5 Определим скоростной напор ветра на провод, $\partial aH / м^2$:

$$q_{max} = 50,0 \cdot 1 = 50,0.$$

2. Определим удельные нагрузки на провод.

2.1 Удельная нагрузка от собственного веса провода, $\frac{\partial aH}{м \cdot мм^2}$:

$$\gamma_1 = \frac{471}{1000 \cdot 136,8} = 3,44 \cdot 10^{-3}.$$

2.2 Удельная нагрузка от веса гололеда, $\frac{\partial aH}{м \cdot мм^2}$:

$$\gamma_2 = \frac{0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 10,0 \cdot (15,2 + 10,0)}{136,8} = 5,2 \cdot 10^{-3}.$$

2.3 Удельная нагрузка от собственного веса провода и веса гололеда,

$$\frac{\partial aH}{м \cdot мм^2}:$$

$$\gamma_3 = (3,44 + 5,2) \cdot 10^{-3} = 8,64 \cdot 10^{-3}.$$

2.4 Удельная нагрузка от давления ветра при отсутствии гололеда,

$$\frac{\partial aH}{м \cdot мм^2}:$$

$$\gamma_4 = \frac{50 \cdot 1,005 \cdot 0,78 \cdot 1,2 \cdot 15,2 \cdot 10^{-3}}{136,8} = 5,23 \cdot 10^{-3}.$$

Коэффициент $k_l = 1,005$ определен линейной интерполяцией по таблице 10. Коэффициент $k_H = 0,78$ определен по таблице 11. Коэффициент c_x принят равным 1,2.

Т а б л и ц а 2.7

Длина пролета, м	до 50	100	150	250 и более
Коэффициент k_l	1,2	1,1	1,05	1,0

Т а б л и ц а 2.8

Скоростной напор ветра, $\frac{\partial aH}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$	до 27	40	55	76 и выше
Коэффициент k_H	1,0	0,85	0,75	0,7

2.5 Определим удельную нагрузку от давления ветра на провод при наличии гололеда, $\frac{\partial aH}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$:

$$\gamma_5 = \frac{0,25 \cdot 50 \cdot 1,005 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot (15,2 + 2 \cdot 10) \cdot 10^{-3}}{136,8} = 3,88 \cdot 10^{-3}.$$

Коэффициент $k_H = 1,0$ определен по таблице 12 для $q' = 0,25 \cdot 50 = 12,5 \frac{\partial aH}{\text{мм}^2}$.

2.6 Определим удельную нагрузку от давления ветра и веса провода без гололеда, $\frac{\partial aH}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$:

$$\gamma_6 = \sqrt{3,44^2 + 5,23^2} \cdot 10^{-3} = 6,26 \cdot 10^{-3}.$$

2.7 Определим удельную нагрузку на провод от давления ветра и веса провода, покрытого гололедом, $\frac{\partial aH}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$:

$$\gamma_7 = \sqrt{8,64^2 + 3,88^2} \cdot 10^{-3} = 9,47 \cdot 10^{-3}.$$

3. Вычислим критические пролеты.

3.1 Первый критический пролет $l_{к1}$ определим, м:

$$l_{к1} = \frac{2 \cdot 8,7}{3,44 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{6 \left[\frac{10^{-3}}{8,25} (8,7 - 13,0) + 19,2 \cdot 10^{-6} (0 - (-40)) \right]}{1 - \left(\frac{8,7}{13,0} \right)^2}} = 262,0.$$

3.2 Второй критический пролет $l_{к2}$ определим, м:

$$l_{к2} = \frac{2 \cdot 13,0}{3,44 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{6 \cdot 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - (-40))}{\left(\frac{9,47 \cdot 10^{-3}}{3,44 \cdot 10^{-3}} \right)^2 - 1}} = 187,0.$$

3.3 Третий критический пролет $l_{к3}$ определим, м:

$$l_{к3} = \frac{2 \cdot 13,0}{3,44 \cdot 10^{-3}} \sqrt{6 \frac{\left[\frac{10^{-3}}{8,25} (13,0 - 8,7) + 19,2 \cdot 10^{-6} (-5 - 0) \right]}{\left(\frac{9,47 \cdot 10^{-3}}{3,44 \cdot 10^{-3}} \right)^2 - \left(\frac{13,0}{8,7} \right)^2}} = 165,0.$$

В результате получим следующее соотношение критических пролетов и расчетного пролета: $l_{к1} > l_{к2} > l_{к3}$ и $l < l_{к2}$. На основании этих соотношений с помощью таблицы 4 определим исходный режим. Это режим максимальной нагрузки с параметрами:

$$t = t_{зол} = -5^0 C; \gamma = \gamma_{max} = 9,47 \cdot 10^{-3} \frac{\partial aH}{М \cdot ММ^2}; \sigma = [\sigma_{\gamma_{max}}] = 13,0 \frac{\partial aH}{ММ^2}.$$

4. По уравнению состояния провода рассчитаем напряжения в проводе режимов среднегодовой температуры $-\sigma_{t_{cp}}$, режима низшей температуры $-\sigma_{t_{min}}$, наибольшей нагрузки $-\sigma_{\gamma_{max}}$.

4.1 Расчет напряжения в проводе для режима низшей температуры:

$$\sigma_{t_{min}} - \frac{(3,44 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 240^2 \cdot 8,25 \cdot 10^3}{24 \cdot \sigma_{t_{min}}^2} = 13 - \frac{(9,47 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 240^2 \cdot 8,25 \cdot 10^3}{24 \cdot 13^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot (-40 - (-5)).$$

Приведем данное уравнение к виду:

$$\sigma_{t_{min}}^3 - 8,037 \cdot \sigma_{t_{min}}^2 - 234,3 = 0.$$

Решение полученного уравнения выполним итерационным методом касательных. В качестве нулевого приближения примем значение: $\sigma_0 = 10 \frac{\partial aH}{ММ^2}$.

4.1.1 Определим поправку на первой итерации:

$$\Delta_1 = \frac{10^3 - 8,037 \cdot 10^2 - 243,3}{3 \cdot 10^2 - 2 \cdot 8,037 \cdot 10} = -0,337.$$

4.1.2 Найдем новое значение напряжения:

$$\sigma_1 = 10 - (-0,337) = 10,337.$$

4.1.3 Выполним проверку окончания итерационного процесса. Для этого зададимся точностью расчета $\varepsilon = 0,01 \frac{\partial aH}{ММ^2}$:

$0,337 > 0,01$, следовательно, расчет нужно продолжить, приняв в качестве нового приближения $\sigma = 10,337$.

4.1.4 Определим поправку на второй итерации:

$$\Delta_2 = \frac{10,337^3 - 8,037 \cdot 10,337^2 - 243,3}{3 \cdot 10,337^2 - 2 \cdot 8,037 \cdot 10,337} = 0,016.$$

4.1.5 Найдем новое значение напряжения:

$$\sigma_2 = 10,337 - 0,016 = 10,321 .$$

4.1.6 Выполним проверку $|-0,89 \cdot 10^{-6}| < 0,01$, следовательно, за искомое значение $\sigma_{t, \min}$ принимаем σ_3 :

$$\sigma_{t, \min} = 10,321 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2} .$$

5. Выполним проверку условий механической прочности проводов по (3.1): $6,79 < 8,7$; $10,2 < 11,30 = 13,0$. Условия выполняются – значит, механическая прочность проводов будет достаточной для условий проектируемой линии.

6. По уравнению состояния провода выполним расчеты напряжения для режимов гололеда без ветра – $\sigma_{\text{гол}}$, высшей температуры – $\sigma_{t, \max}$, грозового режима – $\sigma_{\text{гр}}$.

Результаты расчетов:

$$\sigma_{\text{гол}} = 12,29 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}; \sigma_{t, \max} = 4,95 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}; \sigma_{\text{гр}} = 5,95 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2} .$$

7. Определим стрелы провеса проводов в режимах гололеда без ветра, высшей температуры и грозового режима:

$$f_{\text{гол}} = \frac{8,64 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 12,29} = 5,06 \text{ м};$$

$$f_{t, \max} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 4,95} = 5,01 \text{ м};$$

$$f_{\text{гр}} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 5,95} = 4,16 \text{ м} .$$

8. Выполним проверку соблюдения требуемых расстояний от нижней точки провисания провода до земли: $5,01 < 7,2$; $5,06 < 7,2$. Условия выполняются – значит, расстояние от провода до земли будет не менее габаритного размера.

3 Расчетно-графическая работа №2. Расчет проводов и тросов в аварийных режимах

3.1 Условие задания

Найти редуцированное тяжение и стрелу провеса провода в аварийном режиме после его обрыва во втором пролете от анкерной опоры. Исходные данные для выполнения РГР №2 приведены в таблице 3.1.

Т а б л и ц а 3.1 – Исходные данные для выполнения РГР №2

Исходные данные						
№ вар	I группы			II группы		III группы
	Марка провода	Начальное тяжение	Модуль упругости	Вес гирлянды	Длина гирлянды	Длина пролета
1	АС-95/16	827	8,25	57	1,25	180
2	АС-150/24	1305	8,25	65	1,2	200
3	АС-70/11	609	8,25	40	1,3	160
4	АС-240/93	2088	8,25	63	1,65	220
5	АС-300/39	2430	7,7	70	1,6	240
6	АС-120/19	1045	8,25	45	1,35	210
7	АС-240/56	2375	8,9	68	1,4	170
8	АС-150/19	1215	7,7	60	1,2	250
9	АС-185/43	1850	8,9	55	1,4	119
10	АС-120/27	1190	8,9	40	1,27	230

3.2 Методические указания к заданию

Под аварийным режимом воздушной линии понимают работу при полностью или частично оборванных проводах и тросах.

Основная задача механического расчета проводов в аварийном режиме заключается в определении величин тяжения и провеса провода в пролетах, смежных с аварийным.

Изменение тяжения провода в результате смежения его точки подвеса называется редукией, а установившиеся новое тяжение – редуцированным.

Целью расчета аварийного режима воздушной линии является определение редуцированного тяжения. Оно представляет нагрузку на промежуточную опору в аварийном режиме. По редуцированному тяжению определяют стрелы провеса и производят проверку габарита провода до земли и до пересекаемых инженерных сооружений.

В РГР №2 необходимо определить тяжение, отклонение гирлянды и стрелу провеса провода после его обрыва во втором пролете от анкерной опоры.

До обрыва поддерживающая гирлянда висит вертикально, и провод занимает положение с каким-то начальным тяжением H_0 . После обрыва провода гирлянда отклоняется на угол φ , пролет уменьшается на $\Delta l = l$, а тяжение уменьшается до $H < H_0$. Для решения задания следует применить графический способ с построением кривых тяжения провода и отклонения гирлянды [1].

3.3 Пример расчета проводов в аварийных режимах

В качестве примера рассмотрим расчет аварийного режима проводов АС-120/19 воздушной ЛЭП напряжением 110 кВ, выполненной на железобетонных опорах ПБ110-1. Расчетная длина пролета — $l_p = 240 \text{ м}$. Напряжение в проводе в режиме среднегодовой температуры составляет: $\sigma_{\text{иср}} = 6,79 \text{ даН} / \text{мм}^2$; вес провода — $G_{0n} = 471 \text{ даН} / \text{км}$; суммарное сечение провода — $F = 136,8 \text{ мм}^2$; длина гирлянды изоляторов — $\lambda = 1,3 \text{ м}$; вес гирлянды — $G_u = 50 \text{ даН}$; удельная нагрузка на провод в режиме среднегодовой температуры — $\gamma_1 = 3,44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$.

Будем считать, что число пролетов анкерного участка равно 10, а обрыв одного из проводов произошел в шестом пролете, считая от левой анкерной опоры (рисунок 3.1).

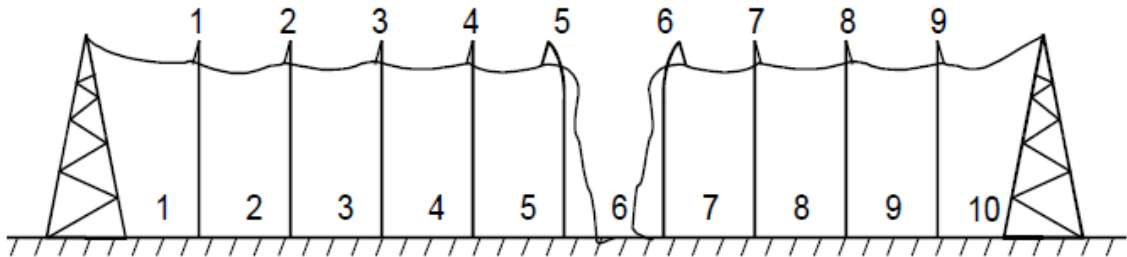


Рисунок 3.1

1. Определим величины, необходимые для дальнейших расчетов.

1.1 Тяжение проводов в режиме среднегодовой температуры определим по формуле:

$$T_{\text{иср}} = \sigma_{\text{иср}} \cdot F = 6,79 \cdot 136,8 = 928,87 \text{ даН}.$$

1.2 Стрелу провеса провода в режиме среднегодовой температуры определим:

$$f_{\text{кр}} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 6,9} = 3,65 \text{ м}.$$

1.3 Максимальное тяжение провода определим:

$$T_{\text{max}} = 13,0 \cdot 173,2 = 2251,6 \text{ даН}.$$

1.4 Нормативное тяжение провода в аварийном режиме определим:

$$T_{\text{норм}} = 0,3 \cdot 2251,6 = 675,5 \text{ даН}.$$

2. Определим редуцированное тяжение в пятом пролете от левой анкерной опоры. Для этого воспользуемся упрощенным методом расчета.

2.1 Найдем коэффициент редукции k_{p1} :

$$k_{p1} = 0,01 + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,375 \cdot 1,3 \cdot \frac{240}{3,65^2}}} = 0,330 .$$

2.2 Найдем коэффициент редукции k_{p6} :

$$k_{p6} = 0,01 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1,3}{3,65} \sqrt{\frac{240}{3,65}}}} - 0,1 = 0,541 .$$

2.3 Найдем коэффициент редукции k_{p5} :

$$k_{p5} = \frac{0,330 + 15 \cdot 0,541}{16} = 0,528 .$$

2.4 Редуцированное тяжение в пятом пролете от левой анкерной опоры определим:

$$T_{ae1} = 0,528 \cdot 928,87 = 490,44 \text{ даН} .$$

2.5 Выполним проверку условия прочности опор в аварийном режиме:

$$490,44 < 675,5 .$$

Условие выполняется, значит, прочность левой промежуточной опоры в аварийном режиме будет достаточной для условий проектируемой линии.

3. Определим аварийную стрелу провеса в пятом пролете от левой анкерной опоры.

3.1 Найдем редуцированное напряжение в проводе в указанном пролете:

$$\sigma_p = \frac{T_{ae1}}{F} = \frac{49,044}{136,8} = 3,59 \text{ даН} / \text{мм}^2 .$$

3.2 Найдем стрелу провеса в аварийном режиме в указанном пролете:

$$f_{ae} = \frac{\gamma_1 \cdot l_p^2}{8 \cdot \sigma_p} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 3,59} = 6,90 \text{ м} .$$

3.3 Выполним проверку соблюдения требуемого расстояния от низшей точки провисания провода до земли в аварийном режиме по соотношению:

$$6,90 < 7,2 .$$

Условие выполняется, значит, расстояние от провода до земли в аварийном режиме в указанном пролете не будет меньше габарита.

4. Определим редуцированное тяжение в четвертом пролете от правой анкерной опоры.

4.1 Найдем коэффициент редукиции k_{p4} :

$$k_{p4} = \frac{0,330 + 7 \cdot 0,541}{8} = 0,515 .$$

4.2 Редуцированное тяжение в четвертом пролете от правой анкерной опоры (смежном с аварийным пролетом) определим:

$$T_{ae1} = 0,515 \cdot 928 ,87 = 478 ,02 \text{ даН} .$$

4.3 Выполним проверку условия прочности опор в аварийном режиме:

$$478 ,02 < 675 ,5 .$$

Условие выполняется, значит, прочность правой промежуточной опоры в аварийном режиме будет достаточной для условий проектируемой линии.

5. *Определим аварийную стрелу провеса в четвертом пролете от левой анкерной опоры.*

5.1 Найдем редуцированное напряжение в проводе в указанном пролете:

$$\sigma_p = \frac{478 ,02}{136 ,8} = 3,49 \text{ даН} / \text{мм}^2 .$$

5.2 Найдем стрелу провеса в аварийном режиме в указанном пролете:

$$f_{ae} = \frac{3,44 \cdot 10^{-3} \cdot 240^2}{8 \cdot 3,49} = 7,09 \text{ м} .$$

5.3 Выполним проверку соблюдения требуемого расстояния от нижней точки провисания провода до земли в аварийном режиме по соотношению:

$$7,09 < 7,2 .$$

Условие выполняется, значит, расстояние от провода до земли в аварийном режиме в указанном пролете не будет меньше габарита.

6. *Определим прогиб промежуточной опоры №5, ограничивающей аварийный пролет:*

$$\delta'_5 = 0,001 \cdot 1 \cdot 490 ,44 = 0,490 \text{ м} .$$

7. *Определим отклонение гирлянды изоляторов на промежуточной опоре №5:*

$$\delta''_5 = \frac{1,3 \cdot 490 ,44}{\sqrt{\left(56 ,52 + \frac{50}{2}\right)^2 + 490 ,44^2}} = 1,28 \text{ м} .$$

8. *Определим прогиб промежуточной опоры №6, ограничивающей аварийный пролет:*

$$\delta'_6 = 0,001 \cdot 1 \cdot 478 ,02 = 0,478 \text{ м} .$$

9. *Определим отклонение гирлянды изоляторов на промежуточной опоре №6:*

$$\delta_6'' = \frac{1,3 \cdot 478,02}{\sqrt{\left(56,52 + \frac{50}{2}\right)^2 + 478,02^2}} = 1,28 \text{ м.}$$

4 Расчетно-графическая работа №3. Расчет монтажных стрел провеса проводов и тросов

4.1 Условие задания

Произвести расчет монтажных стрел провеса провода и троса в соответствии с рекомендациями для анкерного участка. Графическую часть выполнить на листе формата А1. Исходные данные для выполнения РГР №3 приведены в таблице 4.1.

Т а б л и ц а 4.1 – Исходные данные для выполнения РГР №3

Исходные данные											
I группы					II группы				III группы		
№ вар	$U_{ном}$, кВ	Сечение провода	n – цепей	$\cos \varphi$	Климатические условия				Район по		№ профиля
					t_{max} , °C	t_{min} , °C	$t_{э}$, °C	$t_{сол}$, °C	вет-ру	голо-леду	
1	35	АС 70/11	1	0,85	+40	-50	5	-5	III	IV	1
2	35	АС 50/8	1	0,85	+40	-40	0	-5	IV	IV	2
3	35	АС 70/11	1	0,95	+45	-35	-5	-5	III	I	3
4	110	АС 150/34	2	0,90	+35	-25	0	-5	II	II	1
5	110	АС 120/19	2	0,92	+40	-40	+5	-5	III	III	2
6	110	АС 95/16	1	0,90	+45	-40	-10	-5	II	III	3
7	220	АС 240/39	2	0,95	+35	-30	-10	-5	II	II	1
8	220	АС 300/39	1	0,90	+45	-45	0	-5	III	II	2
9	220	АС 300/48	2	0,95	+40	-30	0	-5	II	II	3
10	35	АС 50/8	1	0,85	+35	-25	+5	-5	II	III	1

4.2 Методические указания к заданию

Расчет монтажных стрел провеса выполняется в следующей последовательности.

1. С помощью уравнения (4.1) определяют значение напряжения, возникающего в проводе в диапазоне температур от t_{min} до t_{max} :

$$\sigma_M - \frac{\gamma_1^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_M^2} = [\sigma_u] - \frac{\gamma_u^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot [\sigma_u]^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_M - t_u).$$

2. Для найденных значений $\sigma_M^{t_{max}}$ и $\sigma_M^{t_{min}}$ определяют величины стрел провеса провода в пролете наименьшей длины l_{min} . Используя выражение (4.2)

$$f = \frac{\gamma_1 \cdot l_{\phi}^2}{8 \cdot \sigma_M}, \quad (4.2)$$

получают:

$$f_{t_{\max}}^{l_{\min}} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{\min}^2}{8 \cdot \sigma_M^{t_{\max}}}; \quad f_{t_{\min}}^{l_{\min}} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{\min}^2}{8 \cdot \sigma_M^{t_{\min}}}.$$

3. Аналогично определяются монтажные стрелы провеса для пролета наибольшей длины l_{\max} :

$$f_{t_{\max}}^{l_{\max}} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{\max}^2}{8 \cdot \sigma_M^{t_{\max}}}; \quad f_{t_{\min}}^{l_{\max}} = \frac{\gamma_1 \cdot l_{\max}^2}{8 \cdot \sigma_M^{t_{\min}}}.$$

4. По выражению (4.3) определяют величины тяжения для различных температур:

$$T_M = \sigma_M \cdot F. \quad (4.3)$$

5. Результаты расчетов представляют в табличной форме и в виде графических зависимостей $\sigma_M = \varphi_1(t_M)$, $T_M = \varphi_2(t_M)$, $f_{\max}^l = \varphi_3(t_M)$. Все графики допускается производить на одной координатной плоскости. Шаг изменения температур рекомендуется принимать 5°C .

4.3 Пример расчета монтажных графиков

В качестве примера рассмотрим построение монтажных графиков для ВЛ 110 кВ, выполненной на опорах ПБ110-8 проводом АС-185/29. При этом известны значения $E = 8,25 \cdot 10^3 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$, $\alpha = 19,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$, $l_{\text{заб}} = 205 \text{ м}$. В результате проведенных ранее расчетов определены значения $\gamma_1 = 3,46 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$, $\sigma_{\gamma_{\max}} = 13 \text{ даН} / \text{мм}^2$, $\gamma_{\max} = 14,732 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$, $l_{\text{пр}} = 199,1 \text{ м}$, $\lambda_{\text{суп.ф}} = 1,21 \text{ м}$. Величина z определяется по таблице 4.2 для пролета, равного $l_{\text{заб}} = 205 \text{ м}$ методом линейной интерполяции. Она составила $z=4,08 \text{ м}$. Исходным режимом при выполнении механического расчета провода являлся режим наибольшей нагрузки.

Т а б л и ц а 4.2 – Расстояние z , определяемое по ПУЭ в зависимости от расчетной длины пролета

Длина пролета $l_p, \text{ м}$	100	150	200	300	400	500	600
Расстояние $z, \text{ м}$	2,0	3,2	4,0	5,5	7,0	8,5	10,0

С помощью уравнения (4.1) рассчитаем напряжение в проводе при температуре монтажа $t_{\min} = -10^\circ\text{C}$ и $t_{\max} = +40^\circ\text{C}$. В результате получим:

$$\sigma_M^{t_{\max}} = 3,31 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2} \text{ и } \sigma_M^{t_{\min}} = 4,47 \frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}.$$

Для наибольшего пролета $l_{\max} = 220 \text{ м}$ и наименьшего пролета $l_{\min} = 170 \text{ м}$, определенных при расстановке опор, соответственно стрелы провеса при максимальной и минимальной температуре, рассчитанные по формуле (4.2), будут иметь значения:

$$\begin{aligned}
 l_{\max} = 220 \text{ м} : \quad f_{t_{\max}}^{l_{\max}} &= \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 220^2}{8 \cdot 3,31} = 6,32 \text{ м}; \\
 f_{t_{\min}}^{l_{\max}} &= \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 220^2}{8 \cdot 4,47} = 4,68 \text{ м}; \\
 l_{\min} = 170 \text{ м} : \quad f_{t_{\max}}^{l_{\min}} &= \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 170^2}{8 \cdot 3,31} = 3,78 \text{ м}; \\
 f_{t_{\min}}^{l_{\min}} &= \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 170^2}{8 \cdot 4,47} = 2,80 \text{ м}.
 \end{aligned}$$

Напряжение в проводе при температуре $+15^{\circ}\text{C}$ рассчитано аналогично и равно $\sigma_{M15} = 3,78 \frac{\partial aH}{\text{мм}^2}$. Определим стрелу провеса провода в пролете $l_{\text{заб}}$ по (4.3):

$$f_{15} = \frac{3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 205^2}{8 \cdot 3,78} = 4,81 \text{ м}.$$

Стрела провеса троса:

$$f_{\text{сп}}^m = 4,81 + 1,21 + 3 - 4,08 = 4,94 \text{ м}.$$

Из исходных данных для троса известны $E^m = 20 \cdot 10^3 \frac{\partial aH}{\text{мм}^2}$, $\sigma_{\text{сп}} = 6,914 \frac{\partial aH}{\text{мм}^2}$, $\alpha^m = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{C}}$ и $\gamma_1^m = 8 \cdot 10^{-3} \frac{\partial aH}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$.

Определим величину напряжения в тросе по известной величине $f_{\text{сп}}^m$:

$$\sigma_{\text{сп}}^m = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 205^2}{8 \cdot 4,94} = 8,51 \frac{\partial aH}{\text{мм}^2}.$$

Принимая в качестве исходного режима для троса режим грозы, определим напряжение в тросе в режиме монтажа при минимальной температуре $t_{\min} = -10^{\circ}\text{C}$:

$$\sigma_M^{mt_{\min}} = 9,41 \frac{\partial aH}{\text{мм}^2}.$$

В пролете длиной $l_{\max} = 220 \text{ м}$ стрела провеса троса равна $f_{t_{\min}}^{ml_{\max}} = 5,14 \text{ м}$; в пролете длиной $l_{\min} = 170 \text{ м}$ она составила $f_{t_{\min}}^{ml_{\min}} = 3,07 \text{ м}$, что представлено на рисунке 4.1.

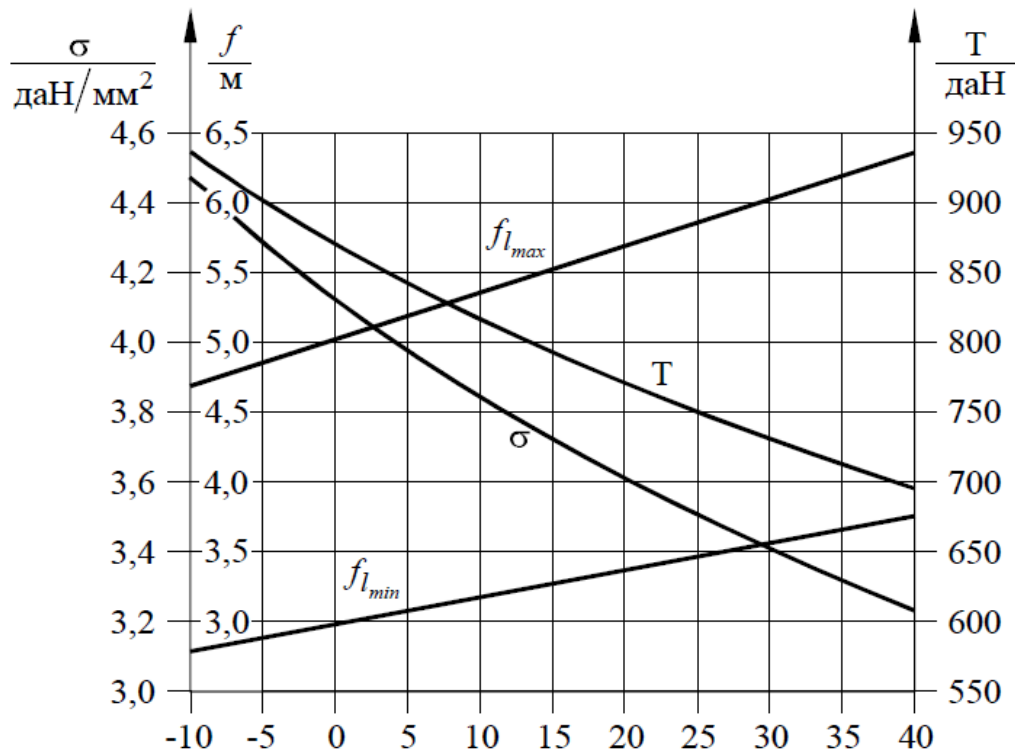


Рисунок 4.1

5 Контрольные вопросы

- 5.1 Что такое «пляска» проводов?
- 5.2 Как определяется стрела провеса провода при одинаковой высоте точек провеса провода?
- 5.3 Как определяется стрела провеса провода при разной высоте точек подвеса провода?
- 5.4 Какие применяются зажимы для закрепления проводов и тросов к опорам?
- 5.5 Как выбираются изоляторы в поддерживающих гирляндах?
- 5.6 Что такое критическая температура и как она определяется?
- 5.7 Какие существуют провода воздушных линий? Дайте краткую характеристику.
- 5.8 Какие условия должны выполняться при выборе натяжных гирлянд изоляторов?
- 5.9 Какое назначение имеет защитная арматура воздушных линий?
- 5.10 Какие величины определяются с помощью уравнения состояния провода в пролете?
- 5.11 Какое преимущество имеет арматура спирального типа по сравнению с обычной арматурой?
- 5.12 Конструкции полимерных изоляторов для ВЛ?
- 5.13 В чем проявляется опасность вибрации на ВЛ?

- 5.14 Какая существует арматура для ВЛ?
- 5.15 Какие существуют опоры ВЛ?
- 5.16 Какой порядок перехода ВЛ через инженерные сооружения?
- 5.17 Какие существуют изоляторы ВЛ?
- 5.18 Какие величины входят в уравнение состояния провода?
- 5.19 Как определяется тяжение в точках подвеса провода?
- 5.20 Какие существуют типы соединителей проводов и тросов?
- 5.21 Кривая провисания провода с разной высотой точек подвеса.
- 5.22 Порядок расчета обрыва провода в любом пролете.
- 5.23 В чем проявляется опасность возникновения вибрации проводов воздушных линии?
- 5.24 Порядок расчета монометаллических проводов.
- 5.25 Как определяется длина провода в пролете?
- 5.26 Удельные механические нагрузки на провода и тросы.
- 5.27 Конструкции проводов и грозотросов.
- 5.28 Физико-механические характеристики проводов и тросов.
- 5.29 Какие существуют меры борьбы с гололедом на проводах и тросах воздушных линии?
- 5.30 Что такое критическая температура и как она определяется?

Список литературы

- 1 Короткевич М.А. Проектирование механической части линий электропередачи: Учебно-методическое пособие. – Минск: БНТУ, 2016. – 116с.
- 2 Вихарев А.П., Вычегжанин А.В., Репкина Н.Г. Проектирование механической части воздушных ЛЭП. Учебное пособие. – Киров: 2009. – 140с.
- 3 Евдокунин Г.А. Электрические системы и сети: Учебное пособие для электроэнергетических спец. вузов. – СПб: Издательство Сизова М.П., 2012.
- 4 Герасименко А.А. Передача и распределение электроэнергии: Учеб. пособие. – Ростов-на Дону: Феникс, 2006.
- 5 Лыкин А.В. Электрические системы и сети. – Москва: Люкс, 2007.

Содержание

1 Общие положения.....	3
2 Расчетно-графическая работа №1. Расчет проводов и тросов на механическую прочность.....	4
3 Расчетно-графическая работа №2. Расчет проводов и тросов в аварийных режимах.....	14
4 Расчетно-графическая работа №3. Расчет монтажных стрел провеса проводов и тросов.....	19
5 Контрольные вопросы.....	22
Список литературы.....	23

Жанар Керимбековна Оржанова

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Методические указания к выполнению
РГР для специальности 6М071800 – Электроэнергетика
(профильная магистратура)

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Г. И. Мухаметсариева

Подписано в печать
Тираж 15 экз.
Объем 1,38 уч. изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ № Цена 690 тенге

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013 Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
Кафедра электрические станции и электроэнергетические системы

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методической
работе

С.В.Коньшин
« ____ » _____ 2019г

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Методические указания к выполнению
РГР для специальности 6М071800 – Электроэнергетика
(профильная магистратура)

СОГЛАСОВАНО:
Директор ДАВ

Р.Р.Мухамеджанова
« ____ » _____ 2019г

Рассмотрено и одобрено на
заседании кафедры ЭССиС
Протокол № ____ от ____ 2019г
Зав.каф. «ЭССиС» _____
Е.К.Умбеткулов

Председатель ОУМК по МОиЭ

Б.К.Курпенов
« ____ » _____ 2019г

Редактор

« ____ » _____ 2019г

Специалист по стандартизации

« ____ » _____ 2019г

Составители (разработчики):
Ж.К.Оржанова

Алматы 2019