

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки (специальность) 140205 Электроэнергетические системы и сети

Кафедра Электрических сетей и электротехники (ЭСиЭ)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Проект строительства воздушной линии 110 кВ Бийскэнерго-Бирюзовая Катунь УДК <u>621.315.17.001.6(571.15)</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9202	Куренков Константин Евгеньевич		24.05.2016

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры электрических сетей и электротехники	Кулешова Елена Олеговна	к.ф-м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Коршунова Лидия Афанасьевна	доцент		25.05.2016

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Амелькович Юлия Александровна	доцент		27.05.2016

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
кафедра электрических сетей и электротехники	Прохоров Антон Викторович	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки (специальность) 140205 Электроэнергетические системы и сети

Кафедра Электрических сетей и электротехники(ЭСиЭ)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) Прохоров А.В.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
3-9202	Куренков Константин Евгеньевич

Тема работы:

Проект строительства воздушной линии 110 кВ Бийскэнерго-Бирюзовая Катунь	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	12.05.2016 № 3504/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является двухцепная линия 110кВ. В качестве исходных данных представлены:</p> <ul style="list-style-type: none">• Нормальная схема электрических соединений объектов электроэнергетики, входящих в операционную зону Алтайского РДУ;• Длина линии от источника питания до потребителя;• Нагрузка потребителя.
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ литературных источников по теме исследования; 2. Проектирование воздушной линии 110 кВ Бийскэнерго-Бирюзовая Катунь ; 3. Выбор сечений проводов в линии и проверка их по техническим ограничениям, предъявляемым требованиями ПУЭ; 4. Выбор опор и проверка их по техническим ограничениям предъявляемым требованиям ПУЭ ; 5. Оценка полученных результатов и составление пояснительной записки.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Принципиальные схемы первичных соединений:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нормальная схема электрических соединений объектов электроэнергетики, входящих в операционную зону Алтайского РДУ.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Коршунова Лидия Афанасьевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Амелькович Юлия Александровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Не предусмотрено</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>15.02.2016</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры электрических сетей и электротехники	Кулешова Елена Олеговна	к.ф-м.н., доцент		15.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9202	Куренков Константин Евгеньевич		15.02.2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное
 учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки (специальность) 140205 Электроэнергетические системы и сети

Уровень образования Специалист

Кафедра Электрических сетей и электротехники(ЭСиЭ)

Период выполнения весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

дипломная работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2016	<i>Выбор сечения провода, проверка выбранного сечения провода.</i>	5
02.03.2016	<i>Расчет механических нагрузок на провода от внешних воздействий.</i>	10
23.03.2016	<i>Выбор климатических условий, изоляторов, расчет длины габаритного пролета, построение шаблона.</i>	15
04.04.2016	<i>Определение нагрузок на опоры, расчет фундаментов.</i>	30
25.04.2016	<i>Построение монтажных графиков. Выбор гасителей вибрации.</i>	25
25.05.2016	<i>Оформление результатов работы и выводов по работе.</i>	5
12.05.2016	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</i>	5
26.05.2016	<i>Социальная ответственность.</i>	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры электрических сетей и электротехники	Кулешова Елена Олеговна	к.ф-м.н., доцент		15.02.16

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
кафедра электрических сетей и электротехники	Прохоров Антон Викторович	к.т.н., доцент		

Оглавление

Задание на выполнение ВКР	2
Задание для раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	4
Задание для раздела «Социальная ответственность»	5
Календарный рейтинг – план	7
Введение	10
Реферат	12
Обозначения, сокращения, нормативные ссылки	13
1 Выбор проводов, расчет механических нагрузок на провода от внешних воздействий	14
1.1 Выбор сечения провода	14
1.2 Проверка выбранных сечений проводов	15
1.3 Определение нагрузок на провода	16
2 Выбор климатических условий, изоляторов, построение шаблона	25
2.1 Выбор климатических условий для расчета провода на прочность	25
2.2 Определение длины габаритного пролета	32
2.3 Выбор изоляторов	35
2.4 Построение шаблона для расстановки промежуточных опор	41
2.5 Расчет перехода	44
2.6 Выбор грозозащитного троса	50
3 Определение нагрузок на опоры	60
3.1 Определение нагрузок на промежуточные опоры	60
3.2 Определение нагрузок на анкерные опоры	62
3.3 Расчет железобетонных грибовидных фундаментов-подножников для промежуточной опоры	65
3.4 Расчет железобетонных грибовидных фундаментов-подножников для анкерной опоры	68
4 Построение монтажных графиков	73

5 Выбор гасителей вибрации для ВЛ Бийскэнерго – Бирюзовая Катунь	77
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	80
6.1 Количественная оценка научного уровня	80
6.2 Планирование выполнения научно-исследовательской работы	81
6.3 Определение трудоемкости и разработка графиков проведения научного исследования	83
6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	87
6.5 Оплата труда	88
6.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	89
6.7 Прочие расходы	90
6.8 Накладные расходы	91
6.9 Расчет прибыли	91
6.10 Расчёт капиталовложений на оборудование и строительно-монтажные работы	92
7 Социальная ответственность	94
7.1 Производственная безопасность	94
7.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	94
7.1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности	106
7.2 Экологическая безопасность	108
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	109
7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	113
Заключение	117
Список использованных источников	118
Приложение А (Рецензия)	119

Введение

Электричество неотъемлемая часть в жизни человека. В производстве и передачи электрической энергии задействованы не только оборудование, но и большое количество всевозможных организаций и предприятий.

Строительство линии «Бийскэнерго – Бирюзовая Катунь» решит проблему обеспечения энергомощностями особой экономической зоны туристско-рекреационного типа «Бирюзовая Катунь» и динамично развивающихся предгорных районов края, позволит подключать новые крупные объекты инфраструктуры.

В дипломной работе будет представлен расчет двух цепной линии 110 кВ и мощностью 25 Мвт. Для этого в работе будут представлены:

- Выбор сечения провода его проверка;
- Расчет механических нагрузок на провод;
- Выбор климатических условий для расчета провода на прочность;
- Определение габаритного пролета и построение шаблона;
- Выбор изоляторов, опор, грозозащитного троса, гасителей вибрации;
- Расчет фундаментов и построение монтажных графиков.

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 118 страниц, 31 таблицу, 22 рисунка.

Ключевые слова: линия, изолятор, провод, пролет, опора, фундамент, сечение.

Объектом проектирования является линия электропередач 110 кВ строительство линии Бийскэнерго-Бирюзовая Катунь, цель – повысить надежность и качество электроснабжения существующих потребителей юго-восточных районов Алтайского края, обеспечить энергоснабжение особой экономической зоны туристско-рекреационного типа «Бирюзовая Катунь», возможность подключения к электросетям новых объектов: жилой застройки, промышленных предприятий, агропромышленных производств, игровой зоны «Сибирская монета».

Для решения данной задачи предлагается:

1. выбрать сечение провода;
2. выбрать изоляторы;
3. рассчитать габаритный пролет, построить шаблон;
4. выбрать грозозащитный трос;
5. выбрать опоры, фундаменты;
6. построить монтажный график;
7. выполнить расчет технико – экономических показателей спроектированной линии.

В результате исследования выбраны провода, опоры, изоляторы, фундаменты, соответствующие требованиям ПУЭ при проектировании высоковольтной линии 110 кВ.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 7.0, Microsoft Excel, графическом редакторе Microsoft Visio.

Обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

ВЛ – воздушная линия;

ПС – подстанция;

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1 Правила устройства электроустановок . Все действующие разделы ПУЭ – 6 и ПУЭ – 7 . – Новосибирск: Норматика, 2016 – 464 с.,ил.

2 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – Новосибирск: Норматика, 2013. – 143с.;

3 СанПиН2.2.4.548-96 – Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997.

1 Выбор проводов, расчет механических нагрузок на провода от внешних воздействий

1.1 Выбор сечения провода

При проектировании линии напряжением до 500 кВ включительно выбор сечения проводов производится по нормированным обобщенным показателям. В качестве таких показателей используется нормированные значения экономической плотности тока [1].

Определим ток линии на пятый год ее использования в нормальном режиме:

$$I_{(5)} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot n_{ц.}} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 2} = 65,608 \text{ А} \quad (1)$$

где, S – мощность МВт;

$U_{ном}$ – напряжение линии кВ;

$n_{ц}$ – количество цепей линии.

Определим расчетный ток линии:

$$I_{расч} = I_{(5)} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T = 65,608 \cdot 1,05 \cdot 1 = 68,888 \text{ А} \quad (2)$$

где, $I_{(5)}$ – ток линии на пятый год использования в нормальном режиме;

$\alpha_i = 1,05$ коэффициент, для линии (110-220 кВ);

$\alpha_T = 1$ коэффициент учитывающий максимальное число использование нагрузки, при $T_{max} = 5000$, час/год, при $K_m = 1$ - участие нагрузки линии

					ФЮРА.140205.001 ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Куренков К. Е.				Выбор проводов, расчет механических нагрузок на провода от внешних воздействий	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Кулешова Е.О						108	
Консульт.								
Н.Контр								
Утвердил						ТПУ ИнЭО гр. 3-9202		

в максимуме энергосистемы.

Определим суммарное сечение проводов линии:

$$F = \frac{I_{расч}}{J_k} = \frac{68,888}{1,1} = 62,625 \text{ А} \quad (3)$$

где, $I_{расч}$ – расчетный ток линии А ;

J_k – плотность тока, А/мм², [2].

Принимаем $F = 120 / 19 \text{ А/мм}^2$

1.2 Проверка выбранных сечений проводов

Проверка по нагреву:

$$I_{пров} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot n_{ц}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 2} \cdot 1,05 \cdot 1 = 68,888 \text{ А} \quad (4)$$

где, S – мощность МВт;

$U_{ном}$ – напряжение линии кВ;

$n_{ц}$ – количество цепей линии;

$\alpha_j = 1,05$ коэффициент, для линии 110-220 кВ;

$\alpha_T = 1$ коэффициент учитывающий максимальное число использование нагрузки, при $T_{max} = 5000$, час/год, при $K_m = 1$ - участие нагрузки линии в максимуме энергосистемы.

$68,888 < 390 \text{ А}$ - проверка пройдена (допустимый длительный ток больше чем проверочный ток);

Проверка по механическим условиям прочности:

Для двух цепной линии 110кВ должны применяться провода сечением не менее 120 мм² Проверка выполняется.

Проверка по потерям напряжения в линиях 110 кВ не производится.

Проверка проводников по условиям короны:

Минимальный диаметр проводов воздушной линии по условиям короны при напряжении 110 кВ должен быть 11,4 мм² (АС 70/11), у нас провод АС 120/19 . Условие выполняются.

Данные линии приведены в таблице 1.

Таблица 1 –Данные линии

Воздушная линия			Бийскэнерго – ПС «Бирюзовая Катунь»
Номинальное напряжение	$U_{ном}$	кВ	110
Длина трассы	L	Км	120
Марка провода	-	-	АС-120/19
Кол-во цепей ЛЭП	n	-	2
Наинизшая температура	t_{-}	°С	-43
Наивысшая температура	t_{+}	°С	39
Среднегодовая температура	$t_{ср}$	°С	1,1
Температура гололедообразования	$t_{г}$	°С	-5
Район по гололеду	-	-	3
Ветровой район	-	-	4

1.3 Определение нагрузок на провода

Климатические условия для расчета ВЛ принимаются по картам климатического районирования и региональным картам по скоростному напору ветра и толщине стенки гололеда. Трасса проектируемой воздушной линии 110 кВ проходит по местности, относящейся к третьему гололедному [2] и четвертому ветровому району [2]. На опорах

будут смонтированы провода марки АС 120/19 нормальной конструкции.

Рассчитаем единичные нагрузки и допускаемые напряжения от внешних воздействий.

В соответствии с [3] провод АС-120/19 имеет параметры, представленные в таблице 2.

Маркировка провода АС-120/19:

АС – провод, состоящий из стального сердечника и алюминиевых проволок;

120 – сечение алюминиевых проволок, мм²;

19 – сечение стального сердечника, мм²

Отношение сечения алюминиевой части провода к сечению стального сердечника $m = 6,27$.

Согласно [2], интенсивность внешних воздействий на элементы ВЛ принимают исходя из частоты повторяемости гололедной и ветровой нагрузок 1 раз в 10 лет при высоте до 15 м над поверхностью земли для ветра и 10 м над поверхностью земли для гололеда.

$W_0 = 800$ Па – скоростной напор ветра [2]

$b_э = 20$ мм – нормативная величина стенки гололеда [2]

Таблица 2 – Технические данные провода марки АС-120/19

Параметры	Проводник	Сердечник	Провод
Сечение, мм ²	118	18,8	136,8
Диаметр, мм	15,2	5,6	20,8
Расчетный вес, кг/км	-	-	471

Нагрузка от собственной массы провода γ_l :

$$P_{II} = M_{II} \cdot g \cdot 10^{-3} = 471 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 4,62 \text{ Н/м} \quad (5)$$

где, M_{II} - вес провода, кг/км

g - (постоянная) ускорение свободного падения, м/с²

Тогда:

$$\gamma_{II} = \frac{P_{II}}{F_A + F_C} = \frac{4,62}{136,8} = 0,034 \text{ Н/м}\cdot\text{мм}^2 \quad (6)$$

Нагрузка при гололеде на 1 м провода.

Находим нормативную нагрузку при гололеде [2]:

$$P_{2n}^H = \pi \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_{\text{э}} \cdot (d_n + k_i \cdot k_d \cdot b_{\text{э}}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

где, k_i, k_d - коэффициенты, учитывающие изменения толщины стенки гололеда по высоте и зависимости от диаметра провода [2];

$b_{\text{э}} = 20$ мм - толщина стенки гололеда

$d_n = 15,2$ мм² - диаметр провода

$\rho = 0,9$ г/см² - плотность льда

Для определения k_i, k_d найдем высоту приведенного центра

тяжести проводов над землей [2]

$$h_{np} = h_{cp} - \frac{2}{3} \cdot f_{II}, [1];$$

где, h_{cp} - среднее арифметическое значение высоты крепления проводов, м.;

f_{II} - стрела провисания провода

На данном этапе h_{cp} определим через высоты крепления всех проводов подведенных на опоре.

$$h_{cp} = \frac{\sum_1^n H_{mp}}{n} \quad (8)$$

где, n – количество зон от поверхности земли в месте установки опоры .

Таблица 3 – Характеристика опоры ПМ110-2Ф.

Шифр опоры	ПМ110-2Ф
Гололед, мм	15-20
Марка провода	АС95/16-АС240/32

$$\sum_1^n H_{mp}^i = H_{mp}^{H.ж.} + H_{mp}^{C.P.} + H_{mp}^{в.} \quad (9)$$

$$h_{cp} = \frac{H_{mp}^{H.ж.} + H_{mp}^{C.P.} + H_{mp}^{в.}}{n}$$

$$h_{cp} = \frac{19 + 23 + 27}{3} = 23 \text{ м}$$

Определим стрелу провисания провода.

На первом этапе расчета невозможно определить стрелу провисания при высшей температуре или гололеде без ветра, поэтому определим ее при средних эксплуатационных условиях

Согласно техническим характеристикам провода [2] провод АС-120/19,

$$F_A = 118 \text{ мм}^2, F_C = 18,8 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Отношение } F_A/F_C = 118/18,8 = 6,276$$

В соответствии с [2] для проводов АС с сечением 120 мм² и более при

$$F_A/F_C = 4,29 \div 4,38, \sigma_{cp} = 102 \text{ Н/мм}^2$$

Среднеэксплуатационные условия работы провода

характеризуются $\gamma_{II} = 0,033 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$

По условию провод смонтирован на опоре ПМ110-2Ф, $l = 130-280$ м для решения $l = 250$ м.

$$f = \frac{\gamma_{II} \cdot l^2}{8 \cdot \sigma} = \frac{0,033 \cdot 250^2}{8 \cdot 102} = 2,584 \text{ м}$$

$$h_{np} = 23 - \frac{2}{3} \cdot 2,528 = 21,277 \text{ м} \quad (10),(11)$$

При высоте расположения приведенного центра тяжести проводов или тросов до 25 м поправки на толщину стенки гололеда на проводах и тросах в зависимости от высоты и диаметра проводов и тросов не вводятся. Тогда $k_i = k_d = 1$ [2]

$$P_{2n} = P_{2n}^H \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \cdot \gamma_d \quad (12)$$

От нормативной нагрузки найдем расчетную [2]

$$P_{2n}^H = 3,14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 \cdot (15,2 + 1 \cdot 1 \cdot 20) \cdot 0,9 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 19,507 \text{ Н/м} \quad (13)$$

где,

$\gamma_{nc} = 1$ - коэффициент надежности по ответственности [2];

$\gamma_p = 1$ - региональный коэффициент [2];

$\gamma_f = 1,6$ - коэффициент надежности по гололедной нагрузке [2];

$\gamma_d = 0,5$ - коэффициент условий работы [2];

$$P_{2n} = 19,507 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 0,5 = 15,605 \text{ Н/м} \quad (14)$$

Найдем удельную гололедную нагрузку

$$\gamma_{2n} = \frac{P_{2n}}{F_A + F_C} = \frac{15,605}{136,8} = 0,114 \text{ Н / м} \cdot \text{мм}^2 \quad (15)$$

Найдем результирующую нагрузку от веса провода и веса гололеда.

$$P_{\Sigma 1} = P_n + P_{2n} = 4,62 + 15,605 = 20,225 \text{ Н / м} \quad (16)$$

$$\gamma_{\Sigma 1} = \gamma_{\Pi} + \gamma_{\Gamma\Pi} = 0,034 + 0,114 = 0,148 \text{ Н / м} \cdot \text{мм}^2 \quad (17)$$

Определим ветровую нагрузку, действующую на 1м провода без гололеда.

$$P_{wn}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot W_0 \cdot F \cdot \sin^2 \varphi \quad [2]$$

$\alpha_w = 0,7$ - коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету линии;

$k_l = 1$ - коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку [1];

$k_w = 1$ - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности [2]

$C_x = 1,2$ - коэффициент лобового сопротивления, для проводов и тросов, свободных от гололеда, диаметром 20 мм и более [2]

$W = 800$ Па - нормативное ветровое давление;

$F = 15,2 \text{ м}^2$ - площадь продольного диаметрального сечения провода;

$\varphi = 90^\circ$ - угол между направлением ветра и осью линии.

$$P_{wn}^H = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 800 \cdot 15,2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 10,214 \text{ Н/м}$$

От нормативной ветровой нагрузки найдем расчетную [2]

$$P_{wn} = P_{wn}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \quad (18),$$

где;

$\gamma_{nw} = 1$ - коэффициент надежности по ответственности;

$\gamma_p = 1$ - региональный коэффициент;

$\gamma_f = 1,1$ - коэффициент надежности по ветровой нагрузке.

$$P_{wn} = 10,214 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 11,235 \text{ Н/м}$$

Найдем удельную ветровую нагрузку:

$$\gamma_{wn} = \frac{P_{wn}}{F_A + F_C} = \frac{11,235}{136,8} = 0,082 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2 \quad (20)$$

Определим ветровую нагрузку, действующую на 1 м провода с гололедом.

$$P_{wn2}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot 0,25 \cdot W \cdot F \cdot \sin^2 \varphi \quad (21)$$

При $W_{w2} = 0,25 \cdot 800 = 200$ Па, $\alpha_w = 0,7$ [3]

k_l, k_w - такие как и в пункте 4.

$C_x = 1,2$ - коэффициент лобового сопротивления, для всех проводов и тросов, покрытых гололедом

$$F = (d_n + 2 K_i \cdot K_d \cdot b_y) \cdot 10^{-3} \quad (22)$$

где,

$K_i = K_d = 1$ - из пункта 2.

$d_n = 15,2 \text{ мм}^2$ - диаметр провода

b_y - условная толщина стенки гололеда, мм [3]. При отсутствии данных

наблюдений принять $b_y = b_{\text{Э}} = 20 \text{ мм}$

$$F = (15,2 + 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20) \cdot 10^{-3} = 0,0552 \text{ м}$$

$$P_{wnz}^H = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 200 \cdot 0,055 = 9,24 \text{ Н/м}$$

От нормативной ветровой нагрузки с гололедом найдем расчетную

$$P_{wnz} = P_{wnz}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \quad (23)$$

где,

$\gamma_{nw}, \gamma_p, \gamma_f$ - берем из пункта 4.

$$P_{wnz} = 9,24 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 10,164 \text{ Н/м}$$

Определим удельную ветровую нагрузку с гололедом

$$\gamma_{wnz} = \frac{P_{wnz}}{F_A + F_C} = \frac{10,164}{136,8} = 0,074 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2 \quad (24)$$

Результирующую нагрузку на провод без гололеда от давления ветра.

$$P_{\text{а}2} = \sqrt{P_n^2 + P_{wn}^2} = \sqrt{4,62^2 + 11,235^2} = 12,148 \text{ Н/м} \quad (25)$$

Найдем удельную нагрузку

$$\gamma_{\Sigma 2} = \frac{P_{\Sigma 2}}{F_A + F_C} = \frac{12,148}{136,8} = 0,089 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2 \quad (26)$$

Найдем результирующую нагрузку на провод с гололедом от давления ветра.

$$P_{\dot{a}3} = \sqrt{P_{\dot{a}1}^2 + P_{\text{wng}2}^2} = \sqrt{20,225^2 + 10,164^2} = 22,635 \text{ Н/м} \quad (27)$$

Найдем удельную нагрузку

$$\gamma_{\Sigma 3} = \frac{P_{\Sigma 3}}{F_A + F_C} = \frac{22,635}{136,8} = 0,165 \text{ Н/м} \quad (28)$$

По расчетам видно что наибольшей является нагрузка, действующая на провод с гололедом от давления ветра, то есть $\gamma_{\text{НБ}} = \gamma_{\Sigma 3} = 0,165 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$.

2 Выбор климатических условий, изоляторов, построение шаблона

2.2. Выбор климатических условий для расчета провода на прочность

Согласно [2] механический расчет проводов и тросов производится по методу допускаемых напряжений. При проведении расчетов по этому методу необходимым условием является работа провода в пределах упругости его материала, т.е. когда внешние силы (нагрузки) вызывают в проводе только упругие деформации. При этом возникающие в проводе напряжения будут пропорциональны величине внешней растягивающей силы и продольным деформациям. Растягивающее усилие в проводе может изменяться как в зависимости от изменения температуры окружающей среды, так и в зависимости от изменения нагрузок на провод. По мере изменения растягивающего усилия в нем изменяется и напряжение « σ ».

Для линии 110 кВ, находящейся в районе со среднегодовой температурой $t_{сг} = 1,1$ °С, температурой гололедообразования $t_{г} = -5$ °С и наименьшей температурой $t_{-} = -43$ °С, определим [2]:

температурный коэффициент линейного расширения провода (α);

модуль продольной упругости (E);

допускаемые напряжения, рассчитанные для значений $t_{сг}$, $t_{г}$ и t_{-} ($\sigma_{сг}$, $\sigma_{г}$, σ_{-});

критические пролеты ($l_{1к}$, $l_{2к}$, $l_{3к}$).

Кроме того, необходимо выбрать определяющие климатические условия для расчета провода на прочность.

ФЮРА.140205.001 ПЗ

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Куренков К. Е.			Выбор климатических условий, изоляторов, построение шаблона	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Кулешова Е.О					108	
Консульт.						ТПУ ИнЭО гр. 3-9202		
Н.Контр								
Утвердил								

Согласно [2]:

$$E = 8,25 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\alpha = 19,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}.$$

По [2]:

$$\sigma_{\text{нб}} = 135 \text{ Н/мм}^2 \text{ в состоянии провода, когда действует } \gamma_{\text{нб}}$$

$$\sigma_{\text{—}} = 135 \text{ Н/мм}^2 \text{ в состоянии провода, когда действует } t_{\text{—}}$$

$$\sigma_{\text{сэ}} = 90 \text{ Н/мм}^2 \text{ в состоянии провода, когда действует } t_{\text{сг}}$$

Каждое из этих значений не может быть превышено в процессе работы линии.

Определим изменение значений среднеэксплуатационных допускаемых напряжений в проводе, которые будут появляться в пролетах разной длины, если необходимо обеспечить сохранение не превышающих допустимые напряжения при появлении наибольшей нагрузки или самой низкой температуре. Чтобы определить наибольшую нагрузку составим и решим уравнение в двух вариантах.

$$\sigma - \frac{\gamma^2 \cdot E \cdot l^2}{24 \cdot \sigma^2} = \sigma_0 - \frac{\gamma_0^2 \cdot E \cdot l^2}{24 \cdot \sigma_0^2} - \alpha \cdot E \cdot (t - t_0).$$

Для определения понятия «критический пролет» рассмотрим зависимость напряжения от температуры и от нагрузки при разных значениях пролетов .

Допустим, что длина пролета стремится к нулю. Примем $l=0$ и подставим его в уравнение. Получим [4]:

$$\sigma = \sigma_0 - \alpha E \cdot (t - t_0).$$

На основании данного уравнения можно сделать вывод о том, что при малых значениях пролетов напряжение в проводе зависит в основном от изменения температуры, а не от изменения нагрузки. Таким

образом, наибольшее напряжение в проводе будет при наиминимей температуре. Пролет, в котором напряжение в проводе достигает наибольшего значения при наиминимей температуре t_0 , называется первым критическим пролетом и обозначается .

Рассмотрим как напряжение в проводе изменяется при больших пролетах. Разделим все члены уравнения основного уравнения состояния провода на квадрат длины пролета и получим [4]:

$$\frac{\sigma}{l^2} - \frac{\gamma^2 E}{24\sigma^2} = \frac{\sigma_0}{l^2} - \frac{\gamma_0^2 E}{24\sigma_0^2} - \frac{\alpha E}{l^2} (t - t_0)$$

При увеличении длины « l » члены данного уравнения, имеющие l^2 в знаменателе, будут уменьшаться и при « $l \rightarrow \infty$ » обратятся в ноль. В последнем случае получим [4]

$$\frac{\gamma^2 E}{24\sigma^2} = \frac{\gamma_0^2 E}{24\sigma_0^2}$$

Решив уравнение относительно σ , имеем [4]

$$\sigma = \frac{\gamma}{\gamma_0} \cdot \sigma_0.$$

Это уравнение показывает, что при больших пролетах напряжение в проводе зависит в основном от нагрузки на провод и достигает максимальных значений при наибольшей нагрузке. Пролет, в котором напряжение в проводе достигает наибольшего значения при наибольшей нагрузке, называется третьим критическим пролетом.

Очевидно, что между первым и третьим критическими пролетами должен находиться такой пограничный пролет, при котором напряжение в проводе достигает одинаковых значений, как при наиминимей температуре, так и при наибольшей нагрузке. Такой пролет называется вторым критическим пролетом.

Рассчитаем изменение значений σ_0 в проводе, которые будут возникать в пролетах различной длины, если требуется обеспечить

сохранение допускаемых напряжений при условии возникновения наибольшей нагрузки или действия на провод наинизшей температуры.

Вариант 1: исходные условия возникновения наибольшей механической нагрузки; искомые условия среднеэксплуатационные, тогда уравнение состояния примет вид [4]:

$$\sigma_{CЭ} - \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{CЭ}^2} = \sigma_{НБ} - \frac{\gamma_{НБ}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{НБ}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{c2} - t_2),$$

Решив уравнение методом Ньютона получаем:

$$\sigma_{CЭ}^3 - A \cdot \sigma_{CЭ}^2 - B = 0, \text{ где}$$

$$A = \sigma_{НБ} - \frac{\gamma_{НБ}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{НБ}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{c2} - t_2), \quad (29)$$

$$B = \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24}, \quad (30)$$

$$\sigma_{k+1} = \sigma_k - \frac{\sigma_k^3 - A \cdot \sigma_k^2 - B}{3\sigma_k^2 - 2A\sigma_k} = \frac{\sigma_k^2(2\sigma_k - A) - B}{\sigma_k(3\sigma_k - 2A)} \quad (31)$$

Исследуем, изменяя напряжение в проводе в зависимости от изменения l_i . Если $l_i \rightarrow 0$, тогда:

$$\sigma_{CЭ(H)}^{(1)} = \sigma_{НБ} - \alpha \cdot E \cdot (t_{c2} - t_2) = 135 - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot (1,1 - (-5)) = 134,034 \text{ Н/мм}^2 \quad (32)$$

Если $l_i \rightarrow \infty$, тогда:

$$\sigma_{CЭ(K)}^{(1)} = \frac{\gamma_1}{\gamma_{НБ}} \sigma_{НБ} = \frac{0,034}{0,165} \cdot 135 = 27,818 \text{ Н/мм}^2, \quad (33)$$

Зависимости А и В от длины пролета l_i :

$$A = \sigma_{HB} - \frac{\gamma_{HB}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{HB}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{c2} - t_2) =$$

$$= 135 - \frac{0,165^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_i^2}{24 \cdot 135^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot (1,1 - (-5))$$

$$A = 134,034 - 0,005135 \cdot l_i^2,$$

$$B = \frac{\gamma_{II}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24} = \frac{0,034^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_i^2}{24},$$

$$B = 3,974 \cdot l_i^2.$$

Результаты расчетов занесем в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчета уравнения (29), (30) состояния провода для первого варианта

L	A	B	$\sigma-1$	$\sigma-2$	$\sigma-3$	$\sigma-4$	$\sigma-5$	$\sigma-6$
50	121,1965	9935	115,992	122,5208	121,8723511	121,8655	121,8655	121,8655
80	97,578	25433,6	121,8655	105,7243	100,6373341	100,1207	100,1155	100,1155
90	88,8485	32189,4	100,1155	93,54002	92,6197161	92,60229	92,60229	92,60229
110	68,3085	48085,4	92,60229	80,3465	76,81530932	76,52259	76,52064	76,52064
120	56,498	57225,6	76,52064	69,79226	68,67279887	68,64303	68,64301	68,64301
130	43,6605	67160,6	68,64301	62,43373	61,4698132	61,4476	61,44759	61,44759
140	29,796	77890,4	61,44759	56,01818	55,29470256	55,28245	55,28245	55,28245
150	14,9045	89415	55,28245	50,76335	50,28240395	50,2772	50,2772	50,2772
200	-74,958	158960	50,2772	39,85383	37,67511035	37,58295	37,58278	37,58278
500	-1153,31	993500	37,58278	30,00971	29,0061949	28,98818	28,98817	28,98817

Вариант 2: исходные условия – наименьшая температура окружающей среды; искомые условия – среднеэксплуатационные, тогда уравнение состояния примет вид:

$$\sigma_{CЭ} - \frac{\gamma_{II}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{CЭ}^2} = \sigma_- - \frac{\gamma_{II}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_-^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{c2} - t_-),$$

Рассмотрим, изменения напряжение в проводе в зависимости от изменения l_i . Если $l_i \rightarrow 0$, тогда:

$$\begin{aligned}\sigma_{CЭ(H)}^{(2)} &= \sigma_- - \alpha \cdot E \cdot (t_{c2} - t_-) = 135 - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot (1,1 - (-43)) = \\ &= 43,8096 \text{ Н/мм}^2\end{aligned}$$

Если $l_i \rightarrow \infty$, тогда:

$$\sigma_{CЭ(K)}^{(2)} = \frac{\gamma_{II}}{\gamma_{II}} \sigma_- = \frac{0,034}{0,034} 135 = 135 \text{ Н/мм}^2,$$

Зависимости А и В от длины пролета l_i :

$$\begin{aligned}A &= \sigma_- - \frac{\gamma_{II}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_-^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{c2} - t_-) = \\ &= 135 - \frac{0,034^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_i^2}{24 \cdot 135^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot (1,1 - (-43))\end{aligned}\quad (34)$$

$$A = 43,8096 - 0,000218 \cdot l_i^2,$$

$$B = \frac{\gamma_{II}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24} = \frac{0,034^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_i^2}{24}\quad (35)$$

$$B = 3,974 \cdot l_i^2.$$

Результаты расчета занесем в таблицу 5.

Таблица 10 – Результаты расчета уравнения (34), (35) состояния провода для второго варианта

L	A	B	$\sigma-1$	$\sigma-2$	$\sigma-3$	$\sigma-4$	$\sigma-5$
50	43,2646	9935	68,472	55,17443	49,13533608	47,71831	47,64198
100	41,6296	39740	47,64198	56,82124	54,94265129	54,84268	54,8424
120	40,6704	57225,6	54,8424	58,04279	57,80115116	57,79969	57,79969
140	39,5368	77890,4	57,79969	60,89538	60,68736171	60,68637	60,68637
180	36,7464	128757,6	60,68637	66,8472	66,170246	66,16121	66,16121
200	35,0896	158960	66,16121	68,86479	68,73555214	68,73525	68,73525
250	30,1846	248375	68,73525	75,34343	74,70447669	74,69796	74,69796
500	-10,6904	993500	74,69796	102,896	96,73907791	96,34519	96,34363

По полученным значениям построим зависимости напряжений в проводе от длины пролета.

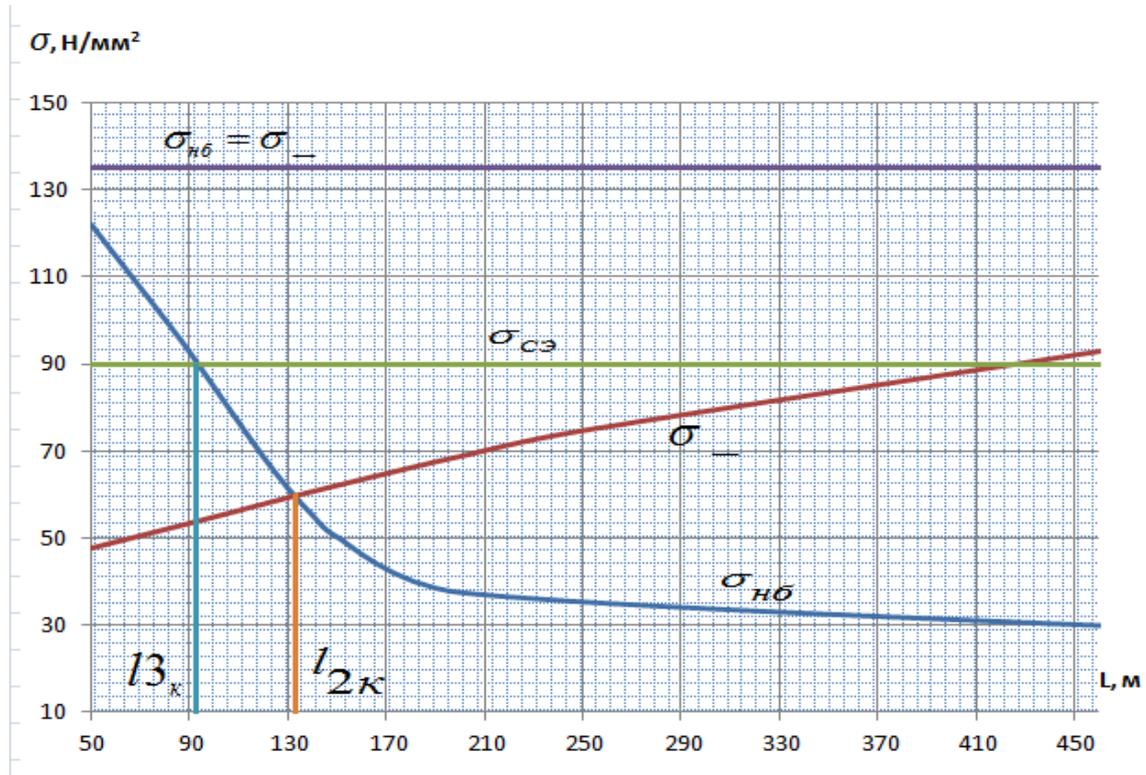


Рисунок 2 – Зависимости напряжений в проводе от длины пролета

Прямая $\sigma_{СЭ} = 90 \text{ Н/мм}^2$ не пересекает зависимость напряжения в проводе от длины пролета при наименьшей температуре $\sigma_{нб} = \sigma_-$, следовательно первый критический пролет $l_{1к}$ является мнимым, а зависимость напряжения в проводе от длины пролета при наибольшей нагрузке в точке пересечения линии $\sigma_{нб}$ с $\sigma_{СЭ}$ длина пролета которой соответствует 93 м. Следовательно, для соблюдения уровня механических напряжений в проводе необходимо принять пролет, находящийся в этом диапазоне.

Так как первый критический пролет $l_{1к}$ является мнимым, то не будем производить его расчет.

Вычислим второй критический пролет $l_{2к}$:

$$l_{2к} = \frac{4,9 \cdot \sigma_{нб}}{\gamma_{II}} \cdot \sqrt{\frac{\alpha \cdot (t_2 - t_-)}{\left(\frac{\gamma_{нб}}{\gamma_{II}}\right)^2 - 1}};$$

Тогда по формуле :

$$l_{2к} = \frac{4,9 \cdot 135}{0,034} \cdot \sqrt{\frac{19,2 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - (-43))}{\left(\frac{0,165}{0,034}\right)^2 - 1}} = 110,664 \text{ м};$$

Вычислим третий критический пролет $l_{3к}$:

$$l_{3к} = \frac{4,9 \cdot \sigma_{нб}}{\gamma_{II}} \cdot \sqrt{\frac{(\sigma_{нб} - \sigma_{с2}) + \alpha E \cdot (t_{Г} - t_{СГ})}{E \cdot \left(\left(\frac{\gamma_{нб}}{\gamma_{II}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{нб}}{\sigma_{с2}}\right)^2 \right)}};$$

Тогда по формуле:

$$l_{3к} = \frac{4,9 \cdot 135}{0,034} \cdot \sqrt{\frac{(135 - 90) + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot (-5 - 1,1)}{8,25 \cdot 10^4 \cdot \left(\left(\frac{0,165}{0,034}\right)^2 - \left(\frac{135}{90}\right)^2 \right)}} = 87,245 \text{ м}.$$

Выбираем свой расчетный пролет:

Так как первый критический пролет $l_{1к}$ является мнимый (имеет слишком малое значение) следовательно, в качестве расчетных пролетов следует принять $l_{3к}$ или $l_{2к}$

Поскольку $l_{зад} = 200 \text{ м} > l_{3к} = 87,245 \text{ м}$, то решающим условием будет режим наибольших нагрузок.

2.2 Определение длины габаритного пролета

Для строящейся линии 110 кВ на местности, характеризуемой самой жаркой температурой воздуха $t_+ = 38^\circ \text{ С}$ [5], определим значение

критической температуры воздуха и выявить климатические условия, соответствующие наибольшему провисанию провода. Определим длину габаритного пролета линии. Суммарную вертикальную нагрузку от собственной массы провода и массы гололеда принять по результатам расчета (6).

$$t_K = (t_{\Gamma} - 3) + \frac{\sigma_{\text{НБ}}}{\alpha \cdot E} \cdot \frac{\gamma_{\text{П}}}{\gamma_{\text{НБ}}} = (-5 - 3) + \frac{120}{19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3} \cdot \frac{0,034}{0,186} = 5,848 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (36)$$

Вычислив критическую температуру, сравниваем ее с абсолютной наивысшей температурой, взятой из исходных данных. И так как $t_+ = +38 \text{ } ^\circ\text{C} > t_K = 5,848 \text{ } ^\circ\text{C}$, то наибольшая стрела провеса провода будет при наибольшей температуре.

Таким образом, наибольшее провисание провода будет при нагрузках провода собственной массой, то есть при удельной механической нагрузке. Габаритным пролетом называется промежуточный пролет воздушной линии такой длины, при которой на ровной местности для заданных высот подвески проводов на соседних опорах обеспечивается нормируемый вертикальный габарит от низшего провода до земли при климатических условиях, соответствующих наибольшему провисанию провода заданной марки. Определение габаритного пролета приведено на рисунке 3.

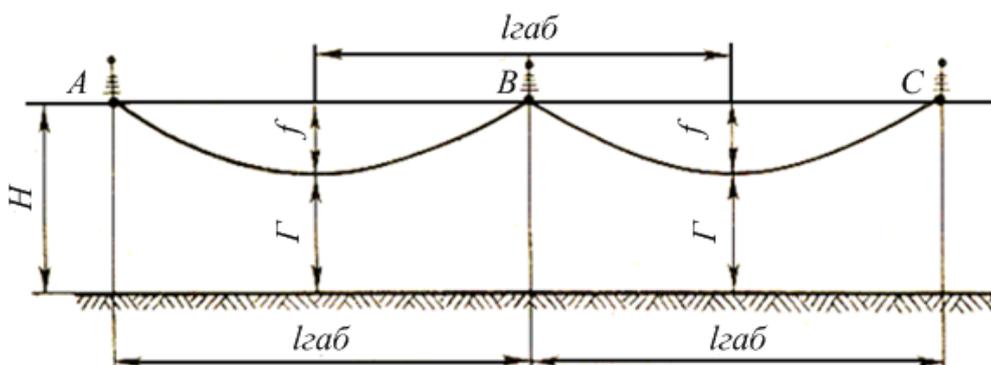


Рисунок 3 – Определение габаритного пролета

Габаритный пролет – пролет, длина которого определяется нормированным вертикальным расстоянием от провода до земли при установке опор на идеально ровной поверхности [2]. Длина габаритного пролета линии определяется по формуле:

$$\ell_{ГАБ}^4 \left(\frac{\gamma_{[f]}}{8f} + \left(\frac{\gamma_{[\sigma]}}{\sigma} \right)^2 \frac{E}{24} \right) - \ell_{ГАБ}^2 (\sigma + \alpha \cdot E (t_{[\sigma]} - t_{[f]})) - \frac{8}{3} f^2 E = 0,$$

где $\gamma_{[f]}$ удельная механическая нагрузка, при которой имеет место наибольшее провисание провода;

$\gamma_{[\sigma]}$ - удельная механическая нагрузка, принятая как исходная для расчета провода на прочность;

α коэффициент линейного расширения провода;

$t_{[\sigma]}$ температура, принимаемая как исходная для расчета провода на прочность;

$t_{[f]}$ температура, при которой стрела провисания провода достигает максимального значения.

Для упрощения расчета преобразуем уравнение для определения длины габаритного пролета в биквадратное уравнение вида:

$$A \ell_{ГАБ}^4 - B \ell_{ГАБ}^2 - C = 0, \quad (37)$$

$$A = \frac{\gamma_f}{8 \cdot f} + \left(\frac{\gamma_{нб}}{\sigma} \right)^2 \cdot \frac{E}{24} = \frac{0,034}{8 \cdot 4,237} + \left(\frac{0,186}{120} \right)^2 \cdot \frac{8,25 \cdot 10^3}{24} = 0,00926; \quad (38)$$

$$B = \sigma - \alpha E \cdot (t_{\sigma} - t_f) = 120 - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot (-5 - 38) = 51,89; \quad (39)$$

$$C = \frac{8}{3} \cdot f^2 \cdot E = \frac{8}{3} \cdot 4,237^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 = 3949477,18. \quad (40)$$

получим:

$$l_{\text{габ}} = \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}} = \sqrt{\frac{51,89 + \sqrt{51,89^2 + 4 \cdot 0,00926 \cdot 3949477,18}}{2 \cdot 0,00926}} = 153,8 \text{ м}$$

Однако, так как габаритный пролет получился больше выбранного расчетного, то исходя из инженерных соображений для дальнейшего расчета примем пролет равный 154 м.

Стрела провеса провода:

$$f = \frac{\gamma_{\text{II}} \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{\text{НБ}}} = \frac{0,034 \cdot 154^2}{8 \cdot 120} = 0,84 \text{ м.} \quad (41)$$

длина провода в пролете 154 м при данной стреле провеса провода:

$$L = l + \frac{8 \cdot f^2}{3 \cdot l} = 154 + \frac{8 \cdot 0,84^2}{3 \cdot 154} = 154,311 \approx 154,3 \text{ м.} \quad (42)$$

2.3. Выбор изоляторов

Для строящейся линии 110кВ необходимо подобрать изоляторы для комплектования гирлянд. Расчет изоляторов производим в соответствии[2].

Для промежуточных опор выбор изоляторов для поддерживающих гирлянд в нормальном режиме осуществляется при наибольшей нагрузке и при среднеэксплуатационных условиях.

При наибольшей нагрузке:

$$2,7 \cdot (n_{\phi} \cdot \gamma_{\text{НБ}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot \ell_{\text{вес}} + G_{\Gamma}) \leq P, \quad (43)$$

где, $n_{\phi} = 1$ число проводов в расщепленной фазе;

$\gamma_{\text{НБ}} = 0,186$ наибольшая нагрузка даН/мм²;

$F_{\text{пр}} = 136,8$ сечение провода мм²

$\ell_{\text{вес}} = 192,5$ весовой наибольший пролет ВЛ, м;

$G_{\Gamma} = 700$ средний вес гирлянды изоляторов, Н;

P – электромеханическая разрушающая нагрузка изолятора, Н.

$$l_{вес} = 1,25 \cdot l_{заб} = 1,25 \cdot 1,154 = 192,5 \text{ (м)}, \text{ подставив значения (43)}$$

получим:

$$2,7 \cdot (n_{\phi} \cdot \gamma_{нб} \cdot F_{нр} \cdot l_{вес} + G_{\Gamma}) = 2,7 \cdot (1 \cdot 0,186 \cdot 136,8 \cdot 192,5 + 700) = 17230 \text{ Н}$$

При среднеэксплуатационных условиях:

$$5(n_{\phi} \cdot \gamma_{II} \cdot F_{нр} \cdot l_{вес} + G_{\Gamma}) = 5(1 \cdot 0,034 \cdot 136,8 \cdot 192,5 + 700) = 9161 \text{ Н} \quad (44)$$

В аварийном режиме на гирлянды изоляторов действуют весовые нагрузки от проводов и самой гирлянды, а также редуцирование тяжения:

$$T_{нб} = n_{\phi} \cdot \sigma \cdot F_{нр}$$

$k_{рд} = 0,4$ коэффициент редукиции;

Так как весовой пролет больше второго критического пролета, следовательно весовой пролет был выбран как рабочий, исходя из режима наибольших нагрузок:

$$\sigma_{нб} = 120 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\begin{aligned} & 1,8 \sqrt{\left(\frac{n_{\phi} \cdot \gamma_{нб} \cdot F_{нр} \cdot l_{вес}}{2} + G_{\Gamma}\right)^2 + (k_{рд} \cdot T_{нб})^2} = \\ & = 1,8 \sqrt{\left(\frac{1 \cdot 0,186 \cdot 173,2 \cdot 192,5}{2} + 700\right)^2 + (0,4 \cdot 120 \cdot 173,2)^2} = 16451 \text{ Н} \quad (45) \end{aligned}$$

При сравнение трех значений нормативных нагрузок видно, что в данном случае выбор изоляторов для поддерживающей гирлянды нужно произвести по нормальному режиму провода.

Выбираем подвесной стеклянный тарельчатый высоковольтный изолятор ПС-70Е, [3]

Таблица 11 – Технические данные изолятора ПС-70Е

Механическая разрушающая	Диаметр тарелки,	Н, мм	Длина пути утечки, мм	Масса, кг
--------------------------	------------------	-------	-----------------------	-----------

сила, кН.	D, мм.			
70	255	127	303	3,5

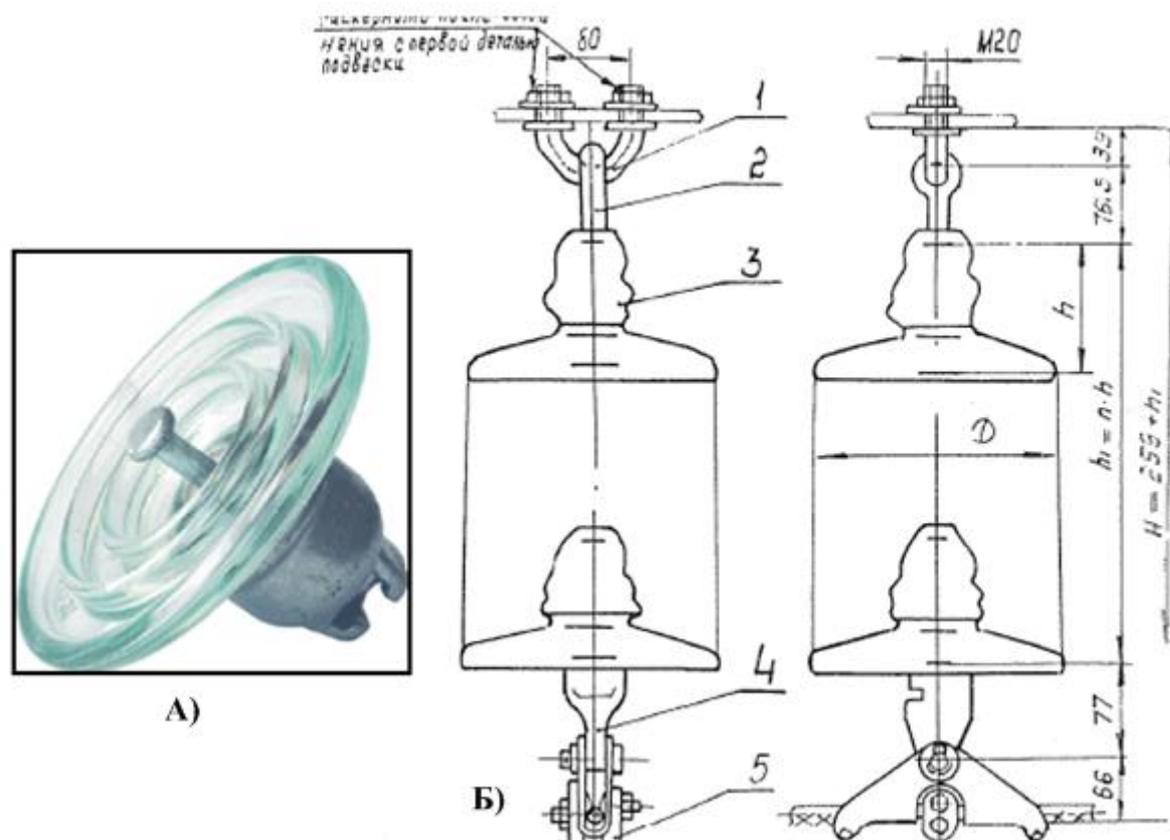


Рисунок 4 – Изолятор линейный подвесной стеклянный ПС-70Е

А) внешний вид; Б) конструктивное исполнени.

Таблица 7 –Линейная арматура изолятора ПС-70Е

Позиция	Обозначение	Наименование	Количество	Масса, ед.кг
1	КГП-16-3	Узел крепления	1	0,81
2	СРС-7-16	Серьга специальная	1	0,32
3		Изолятор		
4	У1К-7-16	Ушко однолапчатое	1	0,62
5	ПГН-3-5	Зажим поддерживающий глухой	1	1,10
Масса арматуры, кг				2,85

Маркировка изолятора ПС-70Е

П – подвесной;

С – стеклянный;

70 – механическая разрушающая сила, кН;

Е-район по СЗА.

Для определения количества изоляторов в гирлянде вычислим длину пути утечки всей конструкции

$$L = \lambda_3 \cdot U \cdot k = 1,6 \cdot 126 \cdot 1,1 = 221,76 \text{ см}$$

$$m = \frac{L}{L_k} = 221,76 / 30,3 = 7,319 \approx 8 \text{ шт}$$

На стальных промежуточных опорах $U=110$ кВ примем количество таких изоляторов 8 штук, тогда длина гирлянды изоляторов вместе с арматурой равна:

$$\lambda_n = (H \cdot m + 259) \cdot 10^{-3} = (127 \cdot 8 + 259) \cdot 10^{-3} = 1,275 \text{ м}, \quad (46)$$

а вес гирлянды изоляторов вместе с арматурой:

$$G_n = m \cdot 3,5 + 2,85 = 8 \cdot 3,5 + 2,85 = 30,85 \text{ кг}. \quad (47)$$

Выбор изоляторов для натяжной гирлянды:

Нормативные нагрузки, приложенные к натяжным гирляндам анкерных опор находятся также при наибольшей нагрузке и при среднеэксплуатационных условиях. Допустимый весовой пролет для анкерных опор принимаем как и для промежуточных.

При наибольшей механической нагрузке:

$$\begin{aligned} 70 &\geq 2,5 \sqrt{\left(\frac{\gamma_{НБ} \cdot F_{ПР} \cdot \ell_{ВЕС}}{2} + G_{Г} \right)^2 + \left(\sigma_{НБ} \cdot F_{ПР} \right)^2} = \\ &= 2,5 \sqrt{\left(\frac{0,186 \cdot 136,8 \cdot 192,5}{2} + 700 \right)^2 + (120 \cdot 136,8)^2} = 52820 \text{ Н} \end{aligned} \quad (48)$$

где, $\gamma_{НБ}=0,186$ наибольшая нагрузка даН/мм²;

$F_{np} = 136,8$ сечение провода мм²

$l_{вес} = 192,5$ весовой наибольший пролет ВЛ, м;

$G_2 = 700$ средний вес гирлянды изоляторов, Н;

$\sigma_{нб} = 120$ нагрузка Н/мм²;

При среднеэксплуатационных условиях:

По зависимостям найдем $\sigma_{ср.эксп}$ для приведенного пролета

$$l_{np} = 0,9 \cdot l_{заб} = 0,9 \cdot 154 = 138,42 \text{ см};$$

$$\sigma_{ср} = 60 \text{ (Н/мм}^2\text{)}$$

тогда при среднеэксплуатационных условиях:

$$\begin{aligned} 70 &\geq 6 \sqrt{\left(\frac{\gamma_n F_{np} l_{вес}}{2} + G_2\right)^2 + (\sigma_{ср} F_{np})^2} = \\ &= 6 \sqrt{\left(\frac{0,034 \cdot 173,2 \cdot 192,5}{2} + 700\right)^2 + (60 \cdot 173,2)^2} = 68100 \text{ Н} \quad (49) \end{aligned}$$

При сравнение двух значений видно, что при выборе изоляторов для натяжных гирлянд следует ориентироваться на величину нагрузки при среднеэксплуатационных условиях.

Выбираем подвесной стеклянный тарельчатый высоковольтный изолятор ПС-70Е, [3].

Таблица 8 – Технические данные изолятора ПС-70Е

Механическая разрушающая сила, кН	Диаметр тарелки D, мм	Строительная высота H, мм	Длина пути утечки, мм	Масса, кг
70	255	127	303	3,5

Таблица 9 – Линейная арматура изолятора ПС-70Е

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса, ед.кг
1	К-12-1А	Скоба	2	0,91
2	СР-12-16	Серьга	1	0,41
3		Изолятор		
4	У2К-7-16	Ушко	1	0,75

		двухлапчатое		
5	ПР-7-6	Звено промежуточное	1	0,34
6	НЗ-2-7	Зажим натяжной	1	2,60
Масса арматуры, кг				5,90

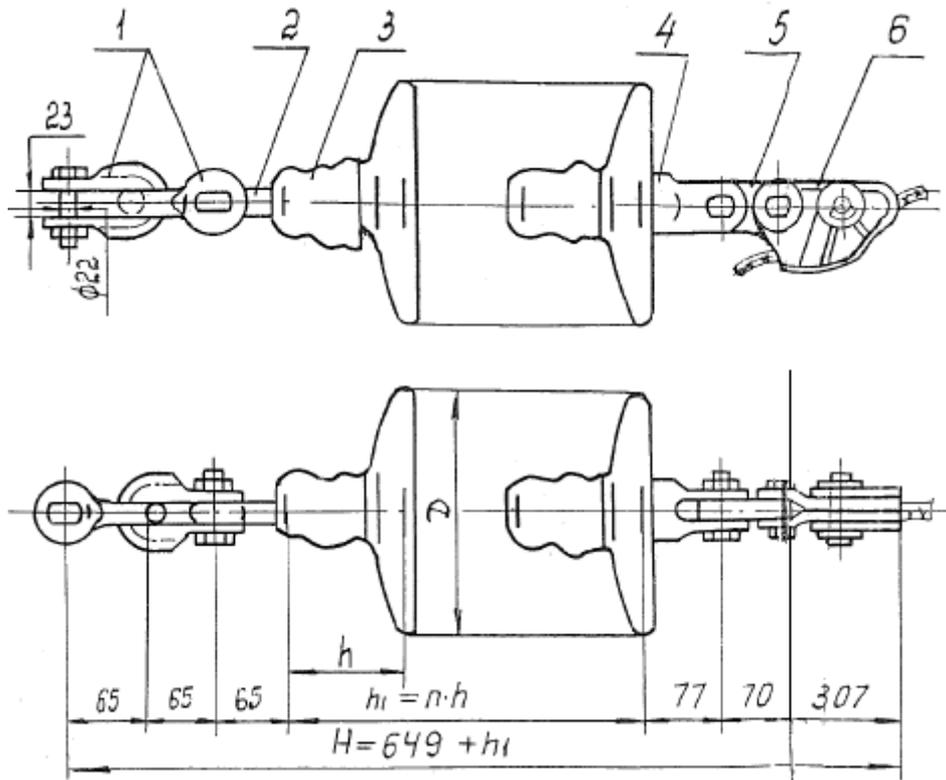


Рисунок 5 – Изолятор линейный натяжной стеклянный ПС-70Е

Для определения количества изоляторов в гирлянде вычислим длину пути утечки всей конструкции:

$$L = \lambda_3 \cdot U \cdot k = 1,6 \cdot 126 \cdot 1,1 = 221,76 \text{ см}$$

$$m = \frac{L}{L_k} = 221,76 / 30,3 = 7,319 \approx 9 \text{ шт}$$

На стальных промежуточных опорах $U=110$ кВ примем количество таких изоляторов 9 штук, тогда длина гирлянды изоляторов вместе с арматурой равна:

$$\lambda_n = (H \cdot m + 649) \cdot 10^{-3} = (127 \cdot 9 + 649) \cdot 10^{-3} = 1,792 \text{ м} \quad (50)$$

а вес гирлянды изоляторов вместе с арматурой:

$$G_n = m \cdot 6 + 5,9 = 9 \cdot 6 + 5,9 = 59,9 \text{ кг.} \quad (51)$$

Согласно [2] поддерживающие зажимы для линий 35-330 кВ принимаются во всех случаях – глухие.

2.4 Построение шаблона для расстановки промежуточных опор

Для строящейся линии 110кВ рассчитаем и построим шаблон для расстановки промежуточных опор. Необходимо учесть следующие требования:

принятый габарит не должен быть меньше, чем регламентируемый [2]; нагрузка на опоры не должна превышать значений, принятых для опор соответствующих типов.

В ходе расчетов был сделан вывод о том, что наибольшее провисание провода будет при нагрузках собственной массой, то есть при удельной механической нагрузке.

Значение напряжения при габаритных климатических условиях неизвестно, поэтому необходимо решать уравнение состояния провода.

Тогда, следует, что $\sigma_{габ} = \sigma_0 = 120$ Н/м. Получим:

$$k_{ин} = \frac{\gamma_{п} \cdot 10^4}{2 \cdot \sigma_{габ}} = \frac{0,034 \cdot 10^4}{2 \cdot 120} = 1,417$$
$$y = 1,417 \left(\frac{x}{100} \right)^2.$$

Средняя парабола (2) называется габаритной кривой. Она сдвинута по вертикали вниз от параболы (1) на расстояние, равное требуемому габариту с запасом габарита на 0,3 м. Для ненаселенной местности значение габарита соответствует $\Gamma = 6$ (м).

$$h_{габ} = \Gamma + 0,3 = 6 + 0,3 = 6,3 \text{ м}$$

Нижняя парабола (3) называется земляной кривой. Ее строят, чтобы правильно накладывать шаблон на профиль трассы без

измерения высоты подвеса провода на опорах h_0 . Кривая (3) сдвинута относительно кривой (1) на расстояние:

$$h_0 = H_{mp}^{нжс} - \lambda_n = 19 - 1,275 = 17,725 \text{ м}$$

где, $H_{mp}^{нжс} = 19\text{м}$ -расстояние от земли до нижней траверсы опоры;

$\lambda_n = 1,275 \text{ м}$ - длина гирлянды изоляторов.

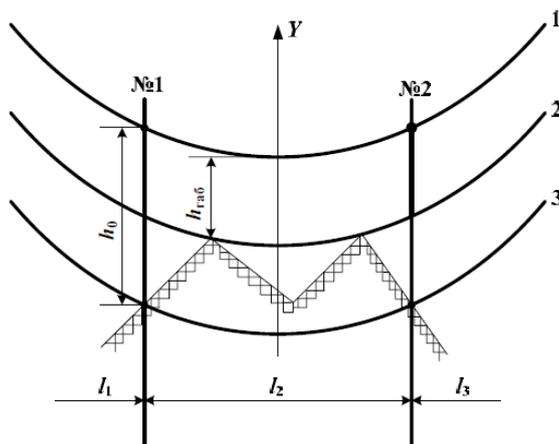


Рисунок 6 – Наложение шаблона на профиль трассы

Шаблон выполняется в тех же масштабах, что и продольный профиль трассы:

по горизонтали – 1:5000 (в 1 см – 50 м);

по вертикали – 1:500 (в 1 см – 5 м).

На готовом шаблоне указываем значения габаритного пролетов.

Полученный в результате расчетов шаблон для расстановки опор по продольному профилю трассы представлен на рисунке 8.

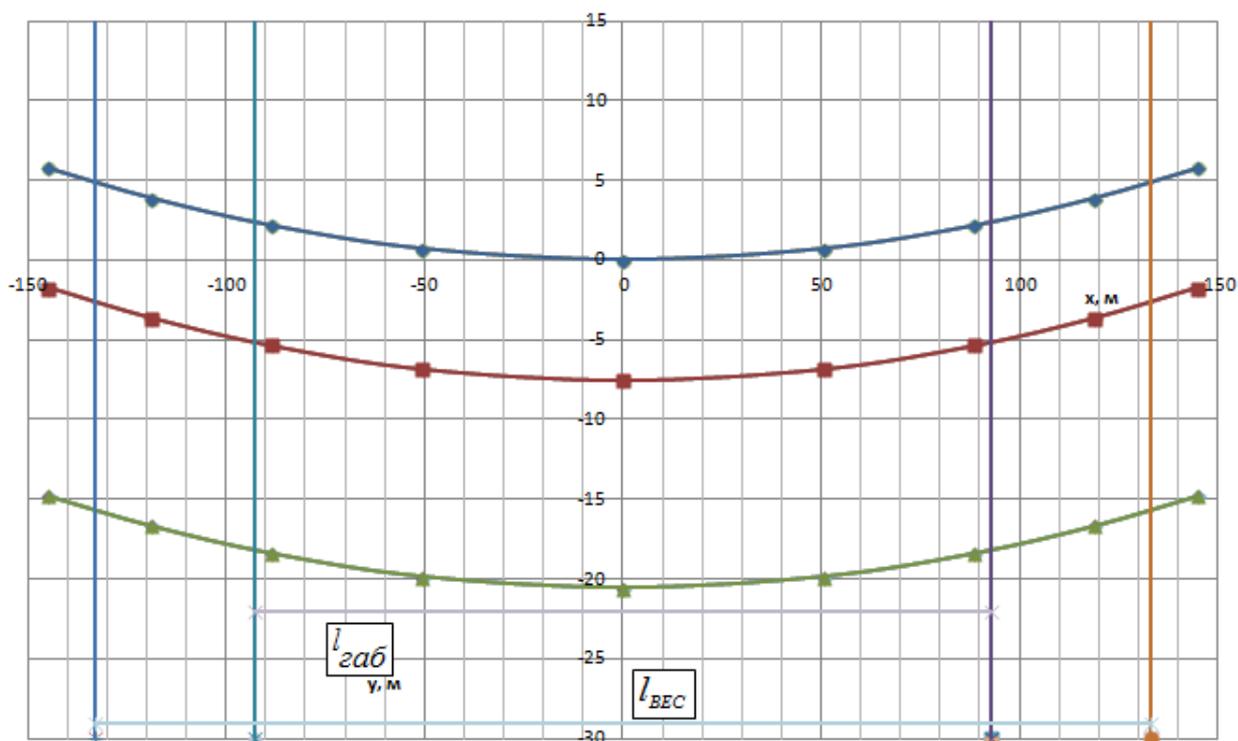


Рисунок 7 – Шаблон для расстановки опор по профилю трассы.

Расстановка опор по продольному профилю трассы производится следующим образом: шаблон накладывается на профиль трассы так, чтобы кривая 3 пересекала профиль в месте установки первой опоры, а кривая 2 касалась его. При этом ось y должна находиться в вертикальном положении. Тогда другая точка пересечения кривой 3 с профилем будет соответствовать месту установки первой промежуточной опоры. При таком положении шаблона во всех точках пролета габарит до земли будет не меньше допустимого. Затем шаблон передвигается и аналогичным образом находится положение следующей опоры.

Если длина последнего пролета в конце анкерного участка окажется малой, то её следует увеличить, уменьшая соответственно ряд длин соседних пролетов и стремясь, чтобы все они были примерно одинаковыми. С помощью шаблона производим дополнительную проверку и убеждаемся, что при перемещении опор габариты остаются не меньше допустимых.

2.5 Расчет перехода

На 1 км от начала трассы двух цепная линия 110кВ на металлических опорах с проводами АС-120/19 пересекает автодорогу категории 1А (Ширина полотна автодороги категории 1А – 30 м.) и идущую параллельно ей трамвайную линию. Расстояние между полотном автодороги и трамвайной линией 5 м. Местность имеет равнинный характер.

Определим наибольшее возможное расстояние между анкерными опорами ограничивающими пролет.

Переход планируется ограничить с двух сторон анкерными опорами, поэтому проверка габарита будет проведена по нормальному режиму.

Пересечения линии 500-750кВ с линией 300кВ и ниже, а также линии 330кВ и ниже между собой допускается осуществлять в пролётах, ограниченных как промежуточными, так и анкерными опорами [2].

Угол пересечения с трамвайной линией не нормируется [2]. Место пересечения должно выбираться ближе к опоре верхней (пересекающей) линии.

Наименьшее расстояние при пересечении с трамвайной линией 9.5 м [2].

Угол пересечения линии с автодорогой не нормируется [2]. Согласно [2], вертикальное расстояние от проводов линии 110 кВ до полотна автодороги категории 1А должно быть в нормальном режиме работы линии не менее 11 м [2].

Для линии 110 кВ, пересекающих несколько инженерных сооружений, следует выполнить проверку габаритов при нагрузке проводов собственной массой и допустимой температурой $t_{дон} = 70^{\circ}C$.

Переход ограничится с обеих сторон анкерными опорами. Проверку габарита произвести по нормальному режиму.

Так как строительство планируется осуществлять с использованием стальных свободностоящих опор, то и анкерные опоры следует выбрать стальными свободностоящим.

Выбираем опору с шифром 1У220-2 [3] с высотой расположения нижней траверсы 10,4 м.

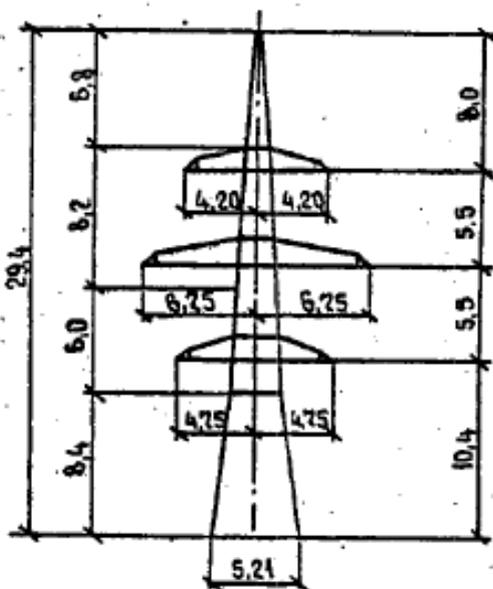


Рисунок 8 – Унифицированная анкерная угловая опора 1У220-2

Таблица 10 – Характеристика опоры 1У220-2

Шифр опоры	1У220-2
Гололед, мм	5-20
Марка провода	АС70/11-АС240/32
Пролет, м	-
Полная высота, м	29,4
Высота до нижней траверсы, м	10,4
Ширина, м	5,21
Масса, т	10,980

Маркировка опоры 1У220-2:

У – угловая;

220 – напряжение ,кВ;

2 – двух цепная.

Выбираем подставку высотой равная 15м и имеющей основание шириной равной 8,96 м, шифр опоры станет У110-2+15.

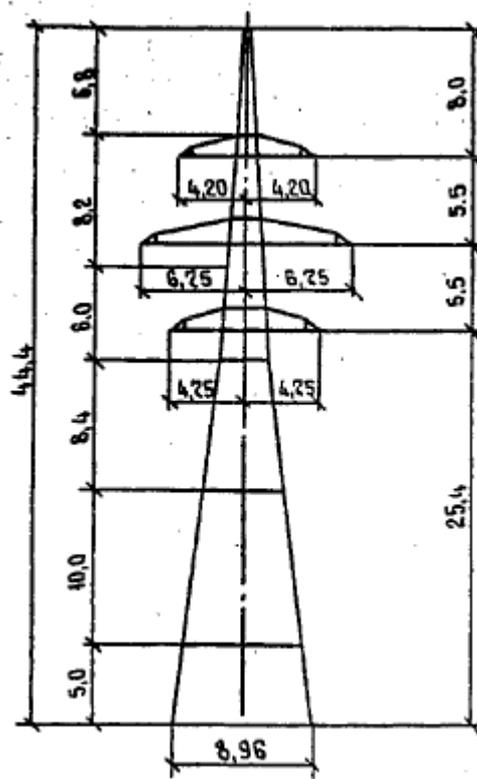


Рисунок 9 – Унифицированная анкерная угловая опора 1У220-2+15

Расстояние по горизонтали от бровки земляного полотна до вертикальной оси опоры составляет [4]:

$$44,4 + \frac{8,96}{2} \approx 49\text{м.}$$

Так как местность имеет равнинный характер, то нет разницы, с какой стороны от автодороги ставить первую опору. Устанавливаем первую опору слева от автодороги. Положение второй опоры определяем расчетом.

Принимаем расстояния по горизонтали от вертикальной оси левой опоры:

- до левой бровки земляного полотна – 200 м.
- до правой бровки земляного полотна – 140 м.

Начало системы координат совмещается с точкой крепления нижнего провода на левой анкерной опоре и будет располагаться на высоте 25,4 м.

Продольный профиль трассы справа и слева от объектов пересечения имеют равнинный характер, поэтому угол уклона $t \approx 0$

Принимаем климатические условия наибольших нагрузок.

$$\gamma_{нб} = 0,165 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2; \quad \sigma_{нб} = 135 \text{ Н/мм}^2; \quad t_z = -5^\circ \text{C}$$

Наибольшее провисание провода имеет место при нагрузке:

$$\gamma_{II} = 0,034 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Так как проверку габаритов необходимо выполнить при температуре $+70$ ($t_{дон} = 70^\circ \text{C}$), то уравнение состояния примет вид:

$$\sigma_{70} - \frac{\gamma_n^2 E l_{ан}^2}{24 \sigma_{70}^2} = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 E l_{ан}^2}{24 \sigma_{нб}^2} - \alpha E (70 - t_z)$$

$$\begin{aligned} A &= \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot E \cdot l_{ан}^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (70 - t_z) = \\ &= 135 - \frac{0,165^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_{ан}^2}{24 \cdot 135^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot (70 - (-5)) = \\ &= 16,200 - 0,005135 \cdot l_{ан}^2 \end{aligned} \quad (52)$$

$$B = \frac{\gamma_{II}^2 \cdot E \cdot l_{ан}^2}{24} = \frac{0,034^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_{ан}^2}{24} = 3,974 \cdot l_{ан}^2 \quad (53)$$

$$\sigma_{70} = \sigma_{сз(к)}^{(1)} = 27,818 \text{ Н/мм}^2 \quad (54)$$

Определим значения (54), (53), (52) для разных значений длины пролета и проверим будут ли соблюдаться запасы в габаритах Δ с учетом требований [2] данные занесем в таблицу 9.

Таблица 9 – Расчет напряжений при различной $l_{ан}$

L	A	B	$\sigma-0$	$\sigma-1$	$\sigma-2$	$\sigma-3$	$\sigma-4$	$\sigma-5$	$\sigma-6$	$\sigma-7$
100	-35,15	39740	115,992	74,89795	48,75578994	33,62973	27,02095	25,63879	25,58067	25,58057
200	-189,2	158960	27,02095	27,10876	27,10859674	27,1086	27,1086	27,1086	27,1086	27,1086
300	-445,95	357660	27,1086	27,48841	27,48556993	27,48557	27,48557	27,48557	27,48557	27,48557
330	-543,002	432768,6	27,48557	27,54132	27,54125794	27,54126	27,54126	27,54126	27,54126	27,54126
350	-612,838	486815	27,54126	27,57107	27,57105678	27,57106	27,57106	27,57106	27,57106	27,57106
400	-805,4	635840	27,57106	27,62773	27,62766682	27,62767	27,62767	27,62767	27,62767	27,62767
450	-1023,64	804735	27,62767	27,66704	27,66700713	27,66701	27,66701	27,66701	27,66701	27,66701
500	-1267,55	993500	27,66701	27,69543	27,69541669	27,69542	27,69542	27,69542	27,69542	27,69542

Рассчитаем ординаты кривой провисания провода для точек на оси абсцисс, соответствующие левой и правой бровки земляного полотна.

$$y = \frac{\gamma \cdot x}{2 \cdot \sigma} \cdot (l - x) \quad (55)$$

Полученные значения из формулы (55) запишем в таблицу 10:

Таблица 10 – Ординаты кривой провисания

L	x1=33	x2=70	x3=100	x4=L/2
100	1,469357	1,3955904	0	1,661417
200	3,455989	5,7066768	6,271073	6,271073
300	5,44966	9,9579526	12,37013	13,91639
330	6,049724	11,234055	14,19688	16,80479
350	6,450134	12,085137	15,41472	18,88303
400	7,452204	14,214012	18,45976	24,61301
500	9,469293	18,494953	24,57801	38,40314

Проверим, будут ли соблюдаться запасы в габаритах с учетом требований [2].

Таблица 11 – Запасы в габаритах

$Y_{x1}>3$	$Y_{x2}>0$	$Y_{x3}>0$	$Y_{x4}>0$	L
12,93064269	14,50441	15,9	14,23858	100
10,91001145	10,19332	9,628927	9,628927	200
8,916340369	5,942047	3,529873	1,983607	300
8,316276333	4,665945	1,703118	-0,90479	330
7,915866391	3,814863	0,485284	-2,98303	350
6,913796332	1,685988	-2,55976	-8,71301	400
4,89670689	-2,59495	-8,67801	-22,5031	500

Из расчетов в таблице 10 видно, что искомая длина пролета находится в пределах от 400 до 500 м. Выбор длины диктуется запасом в габаритах над правой бровкой земляного полотна. Точную длину пролета можно выявить, построив зависимость величин запасов для правой бровки от длины пролета.

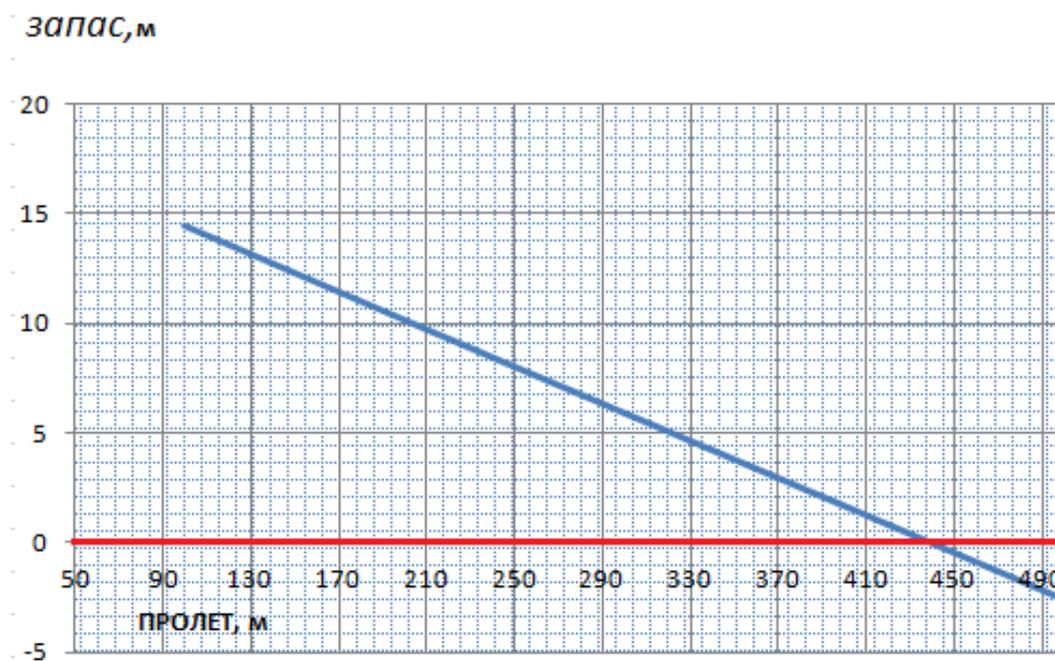


Рисунок 10 – Зависимость величины запаса от длины пролета

По графику видно, что запас сохраняется до длины пролета $l_{ан} \approx 440$ м.

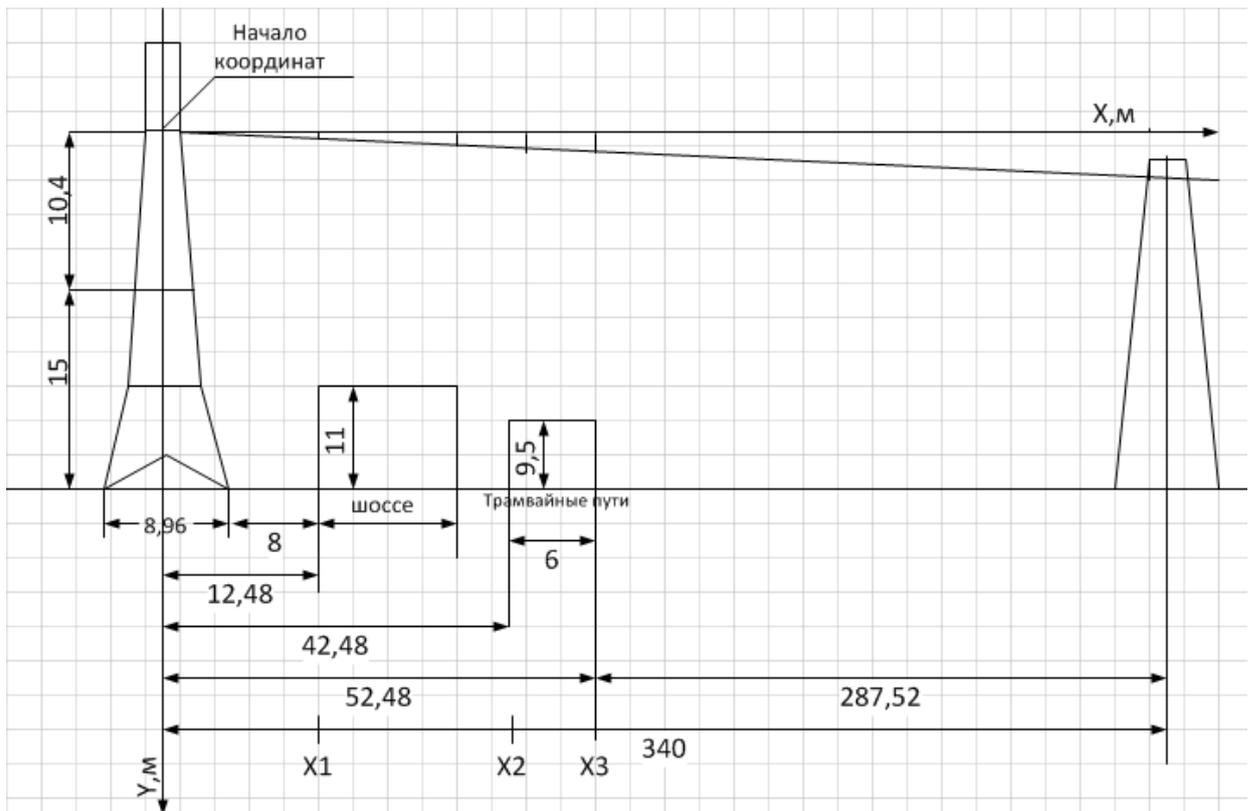


Рисунок 11 – Профиль трассы на участке пересечения воздушной линии с автострадой и воздушной линией

2.6 Выбор грозозащитного троса

Согласно [2], воздушные линии напряжением 110 – 500кВ с металлическими и железобетонными опорами должны быть защищены от прямых ударов молнии тросами по всей длине линии.

Для стального троса марки С-50 с параметрами, приведенными в таблице 12 [3], определить защитные углы для проводов на промежуточной опоре и их соответствие требованиям [2] по защите линии от атмосферных перенапряжений. Рассчитаем натяжение троса, необходимое для устранения прорывов грозовых разрядов к проводам и возможных перекрытий с троса на провода при разрядах в трос в середине пролета, а также проверить трос на механическую прочность.

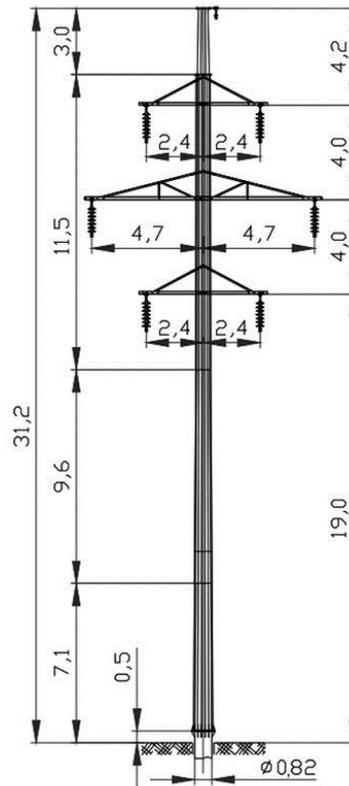


Рисунок 12 – Унифицированная промежуточная двух цепная опора воздушной линии напряжением 110 кВ

Грозозащитный трос крепится на тросостойках опор с помощью одиночных изоляторов, шунтированных искровыми промежутками с целью исключения дополнительных потерь мощности от протекания в них токов.

Высота изолятора, зажима и узла крепления троса $\lambda_T = 0,39$ м.

Высота гирлянды на промежуточной опоре $\lambda_{П} = 3,08$ м.

Таблица 12 – Технические данные грозозащитного троса марки ТК-10

Параметры	С-50
Действительная площадь поперечного сечения, мм ²	48,64
Масса смазанного каната, кг/км	417,5
Диаметр троса, мм	9,1

Маркировка грозозащитного троса С-50:

С –стальной;

9,1 – диаметр троса, мм².

Нормативное ветровое давление $W = 800$ Па.

Толщина стенки гололеда $b_3 = 20$ мм.

$E_T = 20 \cdot 10^4$ Н/мм² - модуль продольной упругости троса;

$\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6}$ 1/°C - температурный коэффициент линейного расширения троса.

Значения температур: $t_{c2} = 1,1^\circ C, t_- = -43^\circ C, t_+ = 39^\circ C, t_2 = -5^\circ C$.

Допускаемые напряжения для троса:

$$\sigma_{нб} = \sigma_- = 620 \text{ Н/мм}^2, \sigma_{c2} = 420 \text{ Н/мм}^2.$$

Согласно [2] защитный угол α должен быть не более 30° [2],

Рассчитаем защитный угол проводов верхней траверсы на опоре:

$$\alpha_{ПВ} = \arctg \frac{D_B}{H_{TC} + \lambda_{II} - \lambda_T} = \arctg \frac{2,4}{4,2 + 3,08 - 0,39} = 19,204^\circ < 30^\circ,$$

где, D_B - половина длины верхней траверсы;

D_c - половина длины средней траверсы;

H_{TC} - высота тросостойки;

Рассчитаем защитный угол проводов средней траверсы на опоре:

$$\alpha_{ПВ} = \arctg \frac{D_c}{H_{CB} + H_{TC} + \lambda_{II} - \lambda_T} = \arctg \frac{4,7}{4,2 + 4 + 3,08 - 0,39} = 23,344^\circ < 30^\circ$$

Требование [2] выполняются.

Определим нагрузки, действующие на трос в заданных климатических условиях.

Постоянно действующая нагрузка от собственной массы троса.

$$P_m = M_m \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 417,5 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 4,091 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_m = 4,091 / 48,64 = 0,084 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Гололедная нагрузка на 1 метр троса:

Нормативная нагрузка:

$$P_{эм}^H = \pi \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_э \cdot (d_m + k_i \cdot k_d \cdot b_э) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3}.$$

Коэффициенты для расчетов принимаем из первой главы

$$P_{эм}^H = 3,14 \cdot 20 \cdot (9,1 + 1 \cdot 1 \cdot 20) \cdot 0,9 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 16,118 \text{ Н/м.}$$

Расчетная нагрузка:

$$P_{эм} = P_{эм}^H \cdot \gamma_{нз} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \cdot \gamma_d.$$

Коэффициенты принимаем из первой главы

$$P_{эм} = 16,118 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 0,5 = 12,894 \text{ Н/м;}$$

$$\gamma_{тп} = \frac{12,894}{48,64} = 0,265 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Результирующая нагрузка от массы троса и гололеда

$$P_{\Sigma 1} = P_m + P_{эм} = 4,091 + 12,894 = 16,985 \text{ Н/м;}$$

$$\gamma_{\Sigma 1} = 0,084 + 0,265 = 0,349 \text{ Н/м.}$$

Ветровая нагрузка, действующая на 1 метр троса без гололеда,

перпендикулярно тросу

Данная нагрузка соответствует ветровому давлению атмосферных перенапряжений

$Wa = 0,06W$, но не менее 50 Па, тогда $Wa = 0,06 \cdot 800 = 48 \text{ Па} < 50 \text{ Па}$

Примем 50 Па.

При $Wa = 50 \text{ Па} \rightarrow \alpha_w = 0,7$

При $l_{заб} = 142,9 \rightarrow k_l = 1,053$

$W = 800 \text{ Па}$

$k_w = 1;$

$c_x = 1,2$ для проводов и тросов $d \geq 20 \text{ мм.}$

$Wa = 50 \text{ Па.}$

$$P_m = d_m \cdot 10^{-3} = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

Нормативная нагрузка:

$$\begin{aligned} P_{wm}^H &= \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot Wa \cdot F \cdot \sin^2 \varphi = \\ &= 0,7 \cdot 1,053 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot 9,1 \cdot 10^{-3} = 0,402 \text{ Н/м.} \end{aligned}$$

Расчетная нагрузка:

$$\begin{aligned} P_{wm} &= P_{wm}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 0,402 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,442 \text{ Н/м;} \\ \gamma_{\text{гн}} &= \frac{0,442}{48,64} = 0,0091 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2. \end{aligned}$$

Ветровая нагрузка действующая на 1 метр троса с гололедом перпендикулярный тросу.

Нормативные нагрузки:

$$\begin{aligned} P_{wm2}^H &= \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot Wa \cdot (dm + 2 \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_9) \cdot 10^{-3} = \\ &= 0,7 \cdot 1,053 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot (9,1 + 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20) \cdot 10^{-3} = 2,171 \text{ Н/м.} \end{aligned}$$

Расчетная нагрузка:

$$P_{wm2} = P_{wm2}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 2,171 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 2,388 \text{ Н/мм.}$$

Удельная нагрузка:

$$\gamma_{\text{гн}} = \frac{2,388}{48,64} = 0,0491 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Результирующая нагрузка на трос без гололеда от давления ветра.

$$\begin{aligned} P_{\Sigma 2} &= \sqrt{P_m^2 + P_{wm}^2} = \sqrt{4,091^2 + 0,442^2} = 4,115 \text{ Н/м;} \\ \gamma_{\Sigma 2} &= \frac{4,115}{48,64} = 0,085 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2. \end{aligned}$$

Результирующая нагрузка на трос с гололедом от давления ветра.

$$P_{\Sigma_3} = \sqrt{P_{\Sigma_1}^2 + P_{w_{mz}}^2} = \sqrt{16,985^2 + 2,388^2} = 17,152 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\Sigma_3} = \frac{17,152}{48,64} = 0,353 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Расчет грозозащитного троса производится совместно с расчетом провода так как ветровая нагрузка на трос без гололеда рассчитывалась для условий атмосферных перенапряжений, то и ветровую нагрузку на провод без гололеда необходимо рассчитать для этих условий.

Нормативная:

$$P_{wn}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot Wa \cdot Fn \cdot \sin^2 \varphi;$$

$$P_{wn}^H = 0,7 \cdot 1,053 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 50 \cdot 15,2 \cdot 10^{-3} = 0,61 \text{ Н/м};$$

$$P_{wnz} = 0,61 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,671 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{wna} = \frac{P_{wnz}}{F_a + F_c} = \frac{0,671}{136,8} = 0,0049 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Тогда:

$$P_{\Sigma_{2na}} = \sqrt{P_n^2 + P_{wn}^2} = \sqrt{4,62^2 + 0,671^2} = 4,668 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\Sigma_{2na}} = \frac{4,668}{136,8} = 0,034 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Расчитать угол отклонения провода от вертикальной плоскости:

$$\beta = \arctg\left(\frac{\gamma_{wna}}{\gamma_{\Sigma_{2na}}}\right) = \arctg\left(\frac{0,0049}{0,034}\right) = 8,20^\circ.$$

Вычислим стрелу провисания провода при температуре атмосферных перенапряжений при та.

$$l_{np} = 0,9 \cdot l_{2a\bar{b}} = 0,9 \cdot 142,49 = 128,241 \text{ см.}$$

Уравнение состояния в комбинированной форме

$$f_{na}^3 + 0,375 \cdot \left(\frac{A \cdot l_{np}^2}{E} \right) \cdot f_{na} - \frac{3}{64} \cdot \frac{\gamma \sum_{2na} \cdot l_{np}^4}{E} = 0;$$

$$\text{где } A = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{II}^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} + \alpha E \cdot (t_z - t_a) = 135 - \frac{0,034^2 \cdot 128,241^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4}{24 \cdot 135^2} +$$

$$+ 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot (-5 - 15) = 99,734;$$

$$D = 0,375 \cdot \left(\frac{A \cdot l_{np}^2}{E} \right) = 0,375 \cdot \left(\frac{99,734 \cdot 128,241^2}{8,25 \cdot 10^4} \right) = 7,455;$$

$$F = \frac{3}{64} \cdot \frac{\gamma \sum_{2na} \cdot l_{np}^4}{E} = \frac{3}{64} \cdot \frac{0,034 \cdot 128,241^4}{8,25 \cdot 10^4} = 5,225.$$

Тогда уравнение для стрелы провисания будет иметь вид:

$$f_{na}^3 + 7,455 \cdot f_{na} - 5,225 = 0.$$

Решение методом Ньютона при $f_{zab} = 0,639$ м полученные значения сведем в таблицу 13;

$$f_{k+1} = \frac{2}{3} \cdot \frac{f_k^3 + F/2}{f_k^2 + D/3}.$$

Таблица 13 – Результаты расчета стрелы провисания провода при t_{na}

f0	f1	f2	f3	f4	f5
0,639	0,93756	0,89846	0,8887	0,88564	0,8856

Окончательный ответ – $f_{na} = 0,8856$ м

Напряжение в низшей точке провода при атмосферных перенапряжениях

$$\sigma_{na} = \frac{\gamma \sum_{2na} \cdot l_{np}^2}{8 \cdot f_a} = \frac{0,034 \cdot 128,241^2}{8 \cdot 0,8856} = 78,923 \text{ Н/м.}$$

Максимальная длина пролета может достигать:

$$l_{\max} = 1,25 \cdot l_{\max} = 1,25 \cdot 142,5 = 178,125 \text{ м};$$

$$f_{na \max} = f_{na} \cdot \left(\frac{l_{\max}}{l_{np}} \right)^2 = 0,8856 \cdot \left(\frac{178,125}{128,241} \right)^2 = 1,709 \text{ м}.$$

Вертикальная проекция максимальной стрелы провисания

$$f_{na \max}^6 = f_{na \max} \cdot \cos \beta = 1,89 \cdot \cos 13,81 = 1,841 \text{ м}.$$

Расстояние между проводом и тросом в середине пролета z по эмпирической формуле

$$z = 4 + 0,015 \cdot (l_{\max} - 200) = 4 + 0,015 \cdot (178,125 - 200) = 3,672 \text{ м}.$$

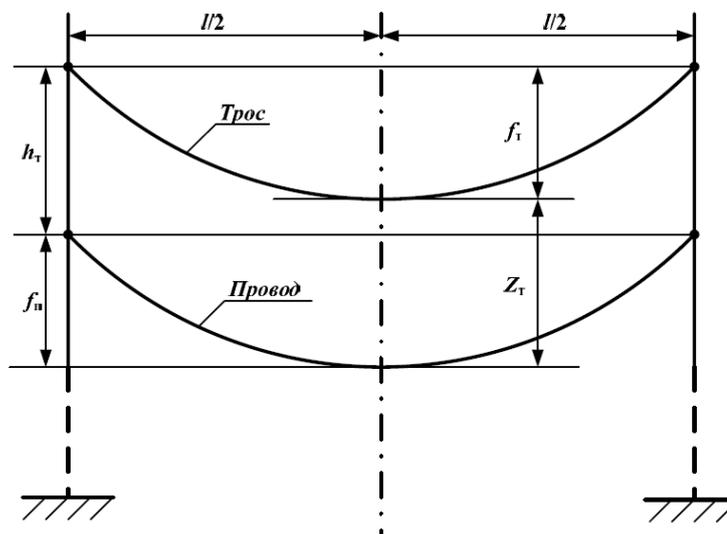


Рисунок 13 – Вертикальное расположение проводов

Стрела провисания троса

$$f_{ma \max} = f_{na}^6 + \lambda_n + H_{mc} - \lambda_m - z = 1,6948 + 3,08 + 4,2 - 0,39 - 3,672 = 4,913 \text{ м}.$$

По условию исключения прорыва тросовой защиты грозовыми разрядами рекомендуется в диапазоне:

$$l = 200 - 300 \text{ м};$$

$$f_{na}^6 - f_{ma \max} = 3,2182 \text{ м}.$$

Поэтому:

$$f_{ma\max} = f_{na}^6 - 3,2182 = 4,913 - 3,2182 = 1,6948 \text{ м.}$$

Тогда:

$$z = (f_{na}^6 - f_{ma\max}) + \lambda_n + H_{mc} - \lambda_m = 3,2182 + 3,08 + 4,2 - 0,39 = 10,1082 \text{ м.}$$

Проверим защитный угол троса в середине пролета:

$$\alpha_{TCP} = \arctg \frac{2}{10,1082} = 11,19^\circ < \alpha_{ПВ} = 15,709^\circ.$$

Вычислим напряжение в тросе, которое обеспечивающее получение максимальной стрелы провисания .

Из-за возможности смещения точек крепления троса, имеющего изолированную подвеску, оперирует длиной приведенного пролета.

$$f_{ma} = f_{ma\max} \cdot \left(\frac{l_{np}}{l_{\max}}\right)^2 = 4,913 \cdot \left(\frac{128,241}{142,5}\right)^2 = 3,979 \text{ м;}$$

$$\sigma_{ma} = \frac{\gamma_{\Sigma 2na} \cdot l_{np}^2}{8 \cdot f_{ma}} = \frac{0,085 \cdot 128,241^2}{8 \cdot 3,979} = 43,915 \text{ Н/м.}$$

Проверим трос на механическую прочность, рассмотрев режим наибольших нагрузок.

Составим и решим основное уравнение состояния.

Исходные условия: $\gamma_{\Sigma 2ma}$, t_a , σ_{ma}

Искомые условия: $\gamma_{\Sigma 3ma}$, t_- , $\sigma_{нб}$

Тогда уравнение состояния для проверки троса будет иметь вид:

$$\sigma_{тнб} - \frac{\gamma_{\Sigma 3ma}^2 E_m l_{np}^2}{24 \sigma_{тнб}^2} = \sigma_{ma} - \frac{\gamma_{\Sigma 2ma}^2 E_m l_{np}^2}{24 \sigma_{ma}^2} + \alpha_m E_m (t_a - t_-);$$

$$\sigma_{тнб} - \frac{1568000}{\sigma_{тнб}^2} = 49,084;$$

$$\sigma_{тнб}^3 - 49,084 \sigma_{тнб}^2 - 1568000 = 0.$$

Таблица 14 – Результаты расчетов напряжений в грозозащитном тросе при условии возникновения наибольшей механической нагрузки

$\sigma-0$	$\sigma-13$	$\sigma-14$	$\sigma-15$	$\sigma-16$
600	103,2292	103,2289	103,229	103,229

Окончательный результат показывает, что выбранный трос удовлетворяет условиям наибольших нагрузок, так как

$$\sigma_{\text{тнб}} = 103,229 \text{ Н/мм}^2 < \sigma_{\text{т}} = 620 \text{ (Н/мм}^2\text{)}.$$

3 Определение нагрузок на опоры

3.1 Определение нагрузок на промежуточные опоры

Определим нормативные и расчетные нагрузки на промежуточную металлическую опору П-110-6В в нормальном режиме работы линии для дальнейшего выбора и проверки фундамента под опору.

Определение нормативных нагрузок

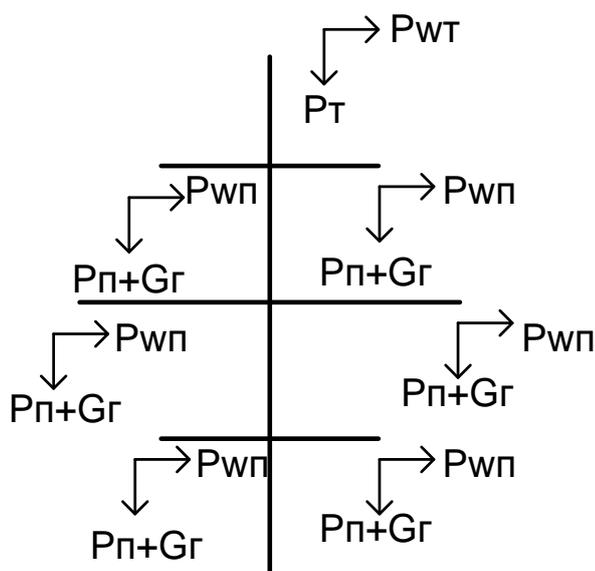


Рисунок 15 – Нагрузки, действующие на промежуточную опору

Постоянные нагрузки

Нагрузка от собственного веса опоры:

$$P_{оп} = 2,856 \text{ т} = 2856 \text{ кг} = 2850 \cdot 9,8 = 27988 \text{ Н} = 27,988 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка от собственного веса гирлянд изоляторов:

$$G_{np} = n_2 \cdot G_2 = 6 \cdot 30,85 = 185,1 \text{ кг} = 185,1 \cdot 9,8 = 1,814 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка от собственного веса провода на $l_{вес}$ с учетом цепности линии и трехфазной системы проводов:

$$P_n = 2 \cdot 3 \cdot P_n \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 4,62 \cdot 178,125 = 4,937 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

					ФЮРА.140205.001 ПЗ					
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Определение нагрузок на опоры					
Разраб.	Куренков К. Е.							Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Кулешова Е.О								108	
Консульт.								ТПУ ИнЭО гр. 3-9202		
Н.Контр										
Утвердил										

Нагрузка от собственного веса троса:

$$P_m = P_m \cdot l_{вс} = 4,091 \cdot 178,125 = 0,728 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Итого по постоянным нагрузкам:

$$P_{оп} + G_{пр} + P_n + P_m = (27,98 + 1,814 + 4,937 + 0,728) \cdot 10^3 = 35,459 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Кратковременные нагрузки

Нагрузка от давления ветра на провода без гололеда при направлении ветра перпендикулярно линии с учетом цепности линии и трехфазной системы:

$$P_{wn} = 2 \cdot 3 \cdot p_{wn} \cdot l_{вс} = 2 \cdot 3 \cdot 11,204 \cdot 178,125 = 11,974 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка от давления ветра на трос без гололеда:

$$P_{wtm} = P_{wta} \cdot l_{вс} = 0,622 \cdot 178,125 = 0,11 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка от веса гололеда на проводах с учетом цепности линии и трехфазной системы:

$$P_{gn} = 2 \cdot 3 \cdot p_{gn} \cdot l_{вс} = 2 \cdot 3 \cdot 15,605 \cdot 178,125 = 16,677 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка на трос от веса гололеда:

$$P_{gtm} = P_{gta} \cdot l_{вс} = 16,118 \cdot 178,125 = 2,871 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка от давления ветра на конструкцию опоры:

$$Q_c^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A;$$

где, 0,82 м – диаметр базы у основания опоры;

19 м – высота опоры от основания до нижней траверсы;

0,51 м – средний диаметр ствола опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки;

4+4+4,2 м – высота опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки;

$$A = 0,82 \cdot 19 + 0,51 \cdot (4 + 4 + 4,2) = 21,802 \text{ м}^2;$$

$$Q_c^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A = 1 \cdot 800 \cdot 1,1 \cdot 21,802 = 19,185 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормативная пульсационная составляющая:

Так как опора свободностоящая, одностоечная, стальная, то;

$$Q_n^H = 0,5 \cdot Q_c^H = 0,5 \cdot 19,185 = 9,59 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Расчетная ветровая нагрузка на конструкцию опоры:

$$Q = (Q_c^H + Q_n^H) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = (19,185 + 9,59) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 31,65 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Строительство линии происходит в третьем гололедном районе.

Гололедную нагрузку на конструкцию опоры обледенение гирлянд не учитываем.

Итого по кратковременным нагрузкам:

$$P_{wn} + P_{wm} + P_{gn} + P_{gm} + Q = 11,974 + 0,11 + 16,677 + 2,871 + 31,65 = \\ = 63,282 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка на промежуточную опору:

$$P_{пр\ on} = P_{ПОСТ} + P_{КР} = 35,459 + 63,282 = 98,741 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

3.2 Определение нагрузок на анкерные опоры

Определим нормативные и расчетные нагрузки на анкерную металлическую опору 1У220-2+15 в нормальном режиме работы линии для дальнейшего выбора и проверки фундамента под опору.

Определение нормативных нагрузок:

Нагрузка от давления ветра на провода без гололеда при направлении ветра перпендикулярно линии с учетом двух цепной и трехфазной системы:

$$P_{wn} = 2 \cdot 3 \cdot P_{wn} \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 11,235 \cdot 440 = 29,66 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка от давления ветра на трос без гололеда:

$$P_{wtm} = P_{wtm} \cdot l_{вес} = 0,622 \cdot 440 = 0,273 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка от веса гололеда на проводах с учетом двух цепной и трехфазной системы:

$$P_{gn} = 2 \cdot 3 \cdot p_{gn} \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 15,605 \cdot 440 = 41,197 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка на трос от веса гололеда:

$$P_{gт} = P_{gт} \cdot l_{вес} = 16,118 \cdot 440 = 7,091 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормативная средняя составляющая ветровая нагрузка:

$$Q_c^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A$$

где, 8,96 м – ширина базы у основания опоры;

25,4 м – высота опоры от основания до нижней траверсы;

2 м – средняя ширина ствола опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки;

5,5+5,5+8 м – высота опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки.

$$A = 8,96 \cdot 25,4 + 2 \cdot (5,5 + 5,5 + 8) = 265,584 \text{ м}^2;$$

$$Q_c^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A = 1 \cdot 800 \cdot 1,1 \cdot 265,584 = 233,713 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормативная пульсационная составляющая

Так как опора свободностоящая, одностоечная, стальная, то:

$$Q_n^H = 0,5 \cdot Q_c^H = 0,5 \cdot 233,713 = 116,856 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Расчетная ветровая нагрузка на конструкцию опоры:

$$Q = (Q_c^H + Q_n^H) \cdot \gamma_{mw} \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_f = (233,713 + 116,856) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 385,626 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Строительство линии происходит в третьем гололедном районе.

Гололедную нагрузку на конструкцию опоры обледенение гирлянд не учитываем.

Итого по кратковременным нагрузкам:

$$P_{wn} + P_{wm} + P_{zn} + P_{zm} + Q = (29,66 + 0,273 + 41,197 + 7,091 + 385,626) \cdot 10^3 \\ = 463,847 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка на анкерную опору:

$$P_{пр\ on} = P_{ПОСТ} + P_{КР} = 229,88 + 463,847 = 693,727 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

3.3 Расчет железобетонных грибовидных фундаментов-подножников для промежуточной опоры

Рассчитаем основание фундамента из сваи погружаемой методом виброудавливанием под промежуточную опору ПМ-110-2Ф в нормальном режиме работы линии.

Грунт представляет собой супесь с показателем консистенции $J_L=0,54$ и коэффициентом пористости $e=0,45$.

Таблица 14 – Технические данные фундамента Ф1-2

Высота фундамента h , м	Глубина заложения фундамента h_{ϕ} , м	Размер стороны квадрата опорной плиты a , м	Масса фундамента G_{ϕ} , т
2,7	2,5	1,2×1,2	1,475

Маркировка фундамента Ф1-2:

Ф – фундамент;

1 – типоразмер;

2 – под опоры с башмаками, имеющими два отверстия.

Исходя из характеристик грунта, выбираем следующие величины [3, таблицы 2.10 и 2.11]:

нормальное значение модуля деформации $E = 27000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$;

нормативное значение внутреннего сцепления $c^H = 12,5 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$;

нормативное значение угла внутреннего трения $\varphi^H = 26^0$;

Давление на грунт основания подножника рассчитывается из условий предельной деформации основания в нормальном режиме работы линии для $E = 27000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$ при размере стороны квадратной опоры плиты $a = 1,2 \text{ м}$ и глубине заложения фундамента $h_\phi = 2,5 \text{ м}$. Давление на грунт основания подножника $R_s = 672 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$.

Для промежуточной прямой опоры, установленной в глинистый грунт с $J_L = 0,54$ показателем консистенции относительным заглублением $h/a = 2,5/1,5 = 1,6 \text{ м}$. Объемным весом грунта обратной засыпки при механическом уплотнении $\gamma_3 = 17 \cdot 10^3 \text{ Н} / \text{м}^3$ расчетное давление

$$R_3 = 60 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2.$$

Коэффициент бокового расширения $\mu = 0,8$, коэффициент безопасности по грунту для угла внутреннего трения $K_\Gamma = 1,1$, а для супеси $K_\Gamma = 2,4$.

Определим угол внутреннего трения обратной засыпки:

$$\varphi_0 = \mu \frac{\varphi^H}{k_\Gamma} = 0,8 \frac{21}{1,1} = 18,18^\circ.$$

Удельное сцепление грунта обратной засыпки:

$$c_0 = \mu \frac{c^H}{k_\Gamma} = 0,8 \frac{12,5}{2,4} = 4,167 \cdot 10^3 \text{ Н} / \text{м}^2.$$

Сжимающая нагрузка, действующая на грибовидный фундамент-подножник, равна сумме постоянных и кратковременных нормативных нагрузок, действующих на опору ПМ110-2Ф равна расчетной вырывающей нагрузке:

$$N_g^P = N_c = 98,741 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Нормативная вырывающая нагрузка, действующая на грибовидный фундамент-подножник, равна итоговой сумме постоянных нагрузок, действующих на опору ПМ110-2Ф:

$$N_g^H = 35,459 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Для прямой промежуточной опоры коэффициент надежности $k_H = 1$.

Расчет по деформациям (на сжатие)

Основное требование расчета – ограничение вертикальной осадки.

Условие – среднее давление по подошве фундамента не должно превышать расчетного давления на основание: $\sigma_{CP} \leq R_S$.

Определяем среднее давление по подошве фундамента:

$$\sigma_{CP} = \frac{N_C}{F} + \gamma_3 \cdot h_\phi = \frac{98,741}{1,5^2} + 17 \cdot 2,5 = 86,385 \cdot 10^3 \text{ (Н/м}^2\text{)};$$

$$\sigma_{CP} \leq R_S \text{ или } 86,385 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2 < 366 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \text{ (Н/м}^2\text{)}$$

Условие расчета по деформациям на сжатие соблюдается и вертикальная осадка фундамента Ф1-2 находится в допустимых пределах.

Расчет по деформациям (на вырывание)

Определяем коэффициент условий работы:

$$m = m_{ГР} \cdot m_0 \cdot m_C = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 1,2$$

где, $m_{эр} = 1,2$ – коэффициент грунта;

m_0 – коэффициент опоры, зависящий от базы опоры b ;

m_C – коэффициент сочетаний, который зависит от режима работы линии (в нормальном режиме $m_C = 1$).

Вырывающая нагрузка, действующая на фундамент:

$$m \cdot R_3 \cdot F_o + G_\phi \cdot 9,8 = 1,2 \cdot 60 \cdot 1,2^2 + 1,2 \cdot 9,8 = 115,44 \cdot 10^3 \text{ (Н)}.$$

Сравниваем нормативную нагрузку с полученной:

$$N_e^H < m \cdot R_3 \cdot F_o + G_\phi \cdot 9,8 \text{ или } 35,459 \text{ Н} \cdot 10^3 < 115,44 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Фундамент марки Ф1-2 удовлетворяет условию расчета по деформациям на вырывание.

Таким образом, на основании проведенных проверок можно утверждать о правильном выборе фундамента.

Расчет по несущей способности:

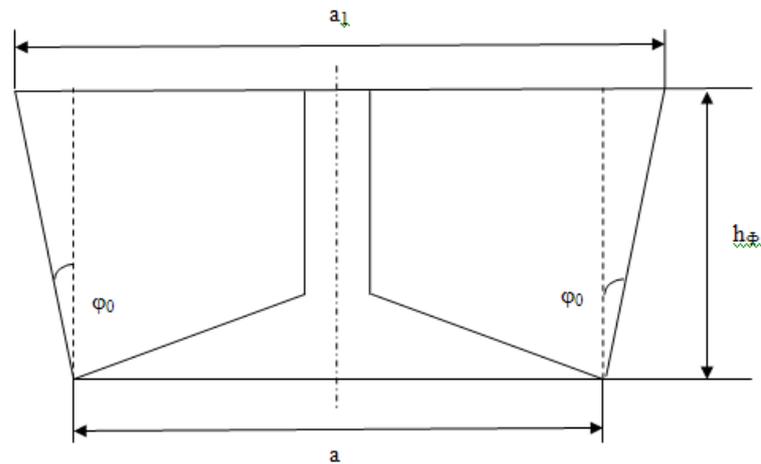


Рисунок 16 – Чертеж фундамента

где, a – размер стороны квадратной опорной плиты подножника, м;

h_ϕ - глубина заложения подножника, м;

a_1 – размер стороны призмы выпирания подножника, м;

ϕ_0 – угол внутреннего трения обратной засыпки, град.

Определим объем обелиска грибовидного фундамента – подножника:

$$a_1 = a + 2h_\phi \cdot \operatorname{tg}\phi_0 = 1,2 + 2 \cdot 2,5 \cdot \operatorname{tg}18,18 = 2,65 \text{ м};$$

$$V_\phi = \frac{h_\phi}{6} [(2a_1 + a)a_1 + (2a + a_1)a] = \frac{2,5}{6} \cdot [(2 \cdot 2,65 + 1,5) \cdot 2,65 + (2 \cdot 1,5 + 2,65) \cdot 1,5] = 11,02 \text{ м}^3.$$

Определим сумму площадей боковых поверхностей грибовидного фундамента-подножника:

$$\Sigma\omega_\phi = 2h_\phi(a + a_1) = 2 \cdot 2,5 \cdot (1,5 + 2,65) = 20,75 \text{ м}^2.$$

Далее проверяем, выполняется ли условие по несущей способности:

$$\begin{aligned} \frac{1}{K_n} (N_\phi + 0,9G_\phi) &= \frac{1}{K_n} (V_\phi \gamma_s + C_0 \cos \phi_0 \cdot \Sigma\omega_\phi + 0,9G_\phi \cdot 9,8) = \\ &= \frac{1}{1} (11,02 \cdot 17 + 4,167 \cdot \cos 18,18^\circ \cdot 20,75 + 0,9 \cdot 2,4 \cdot 9,8) = 290,308 \cdot 10^3 \text{ Н}. \end{aligned}$$

Сравним:

$$N_s^p \leq \frac{1}{K_n} (N_\phi + 0,9G_\phi),$$

$98,741 \text{ Н} \cdot 10^3 \leq 290,308 \text{ Н} \cdot 10^3$, следовательно выбранный фундамент Ф1-2 удовлетворяет условию расчета по несущей способности.

3.4 Расчет железобетонных грибовидных фундаментов-подножников для анкерной опоры

Рассчитаем основание грибовидного подножника марки Ф5-2, технические данные которого приведены в таблице 15, под анкерную опору 1У220-2+15 в нормальном режиме работы ВЛ. Грунт глинистый с показателем консистенции $J_L = 0,54$ и коэффициентом пористости $e = 0,45$.

Таблица 15 - Технические характеристики фундамента Ф5-2

Высота фундамента h , м	Глубина заложения h_{ϕ} , м	Размер стороны квадрата опорной плиты a , м	Масса фундамента G_{ϕ} , т
3,2	4	2,4x2,4	4,46

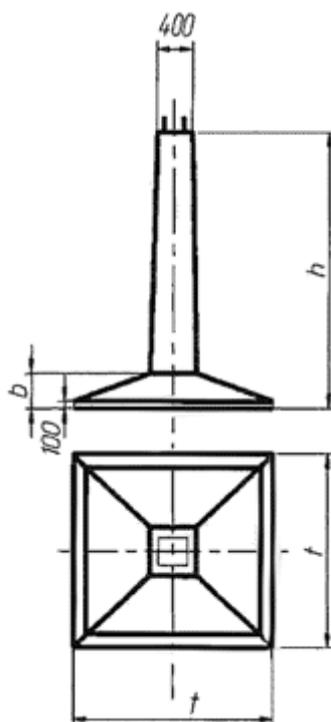


Рисунок 17 – Чертеж фундамента Ф5-2

Сжимающая нагрузка, действующая на грибовидный фундамент, равна сумме постоянных и кратковременных нормальных нагрузок, действующих на опору равна расчетной вырывающей нагрузке:

$$N_G^P = N_C = 693,797 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормативная вырывающая нагрузка равна итоговой сумме постоянных нагрузок, действующих на опору:

$$N_G^H = 229,88 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Для глинистых грунтов с показателем консистенции $J_L = 0,54$ и коэффициентом пористости $e = 0,45$:

- нормативное значение модуля деформации $E = 27000 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$;

- нормативный угол внутреннего трения $\varphi_H = 25^\circ$;

- нормативное удельное сцепление грунта $c_H = 12,5 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$.

Давление на грунт основания подножника, рассчитывается из условий предельных деформаций основания в нормальном режиме работы линии для значения модуля $E = 27000 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$ при размере стороны квадратного подножника $a = 2,4 \text{ м}$ и глубина заложеного фундамента $h_\phi = 4 \text{ м}$. Давление на грунт основания подножника

$$R_S = 361 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2 .$$

Для промежуточной прямой опоры, установленной в глинистый грунт с показателем консистенции с относительным заглублением

$$h / a = 3,2 / 2,4 = 1,33 \text{ м.}$$

Объемным весом грунта обратной засыпки при механическом

уплотнении $\gamma_3 = 17 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$ расчетное давление $R_3 = 60 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$.

Выбираем коэффициент бокового расширения $\mu = 0,8$ коэффициент

безопасности по грунту для угла внутреннего трения $k_\Gamma = 1,1$, а для

супеси $k_\Gamma = 2,4$.

Угол внутреннего трения обратной засыпки:

$$\varphi_0 = \mu \cdot \frac{\varphi^H}{k_{\Gamma}} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,1} = 18,18^\circ.$$

Удельное сцепление грунта обратной засыпки:

$$C_0 = \mu \cdot \frac{C_H}{k_{\Gamma}} = 0,8 \cdot \frac{12,5}{2,4} = 4,167 \cdot 10^3 \text{ Н/м.}$$

Для промежуточной опоры коэффициент надежности:

$$k_H = 1$$

Расчет на сжатие

Среднее давление по подошве фундамента:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_c}{F} + \gamma_3 \cdot h_{\phi} = \frac{693,797}{2,4^2} + 17 \cdot 4 = 188,45 \cdot 10^3 \text{ Н/м};$$

$$\sigma_{cp} \leq R_s \text{ или } 188,45 < 361 \cdot 10^3 \text{ (Н/м}^2\text{)}.$$

Условие расчета по деформациям на сжатие соблюдается, и вертикальная осадка фундамента Ф5-2 находится в допустимых пределах.

Расчет на вырывание

Вырывающая нагрузка, действующая на фундамент:

$$m \cdot R_3 \cdot F_0 + G_{\phi} \cdot 9,8 = 1,2 \cdot 60 \cdot 2,4^2 + 4,46 \cdot 9,8 = 458,43 \cdot 10^3 \text{ Н,}$$

где $m=1,2$ – коэффициент грунта;

Сравниваем нормативную нагрузку с полученной:

$$N_B^H = 229,88 < 458,43.$$

Фундамент марки Ф5-2 удовлетворяет условию расчета по деформациям на вырывание.

Расчет по устойчивости (по несущей способности)

Определим объемobelиска грибовидного фундамента–подножника, если, $a=1,8$ м:

$$a_1 = a + 2 \cdot h_{\phi} \cdot \text{tg} \varphi_0 = 2,4 + 2 \cdot 4 \cdot \text{tg}(18,18^\circ) = 10,4;$$

$$V_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{6} [(2 \cdot a_1 + a) \cdot a_1 + (2 \cdot a + a_1) \cdot a] = \frac{4}{6} \cdot [(2 \cdot 2,4 + 10,4) \cdot 10,4 + (2 \cdot 2,4 + 10,4) \cdot 2,4] = 129,7 \text{ м}^3.$$

Определим сумму площадей боковых поверхностей грибовидного фундамента подножника:

$$\Sigma\omega_{\phi} = 2 \cdot h_{\phi} \cdot (a + a_1) = 2 \cdot 4 \cdot (2,4 + 10,4) = 102,4 \text{ м}^2;$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{K_H} \cdot (N_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi} \cdot 9,8) &= \frac{1}{K_H} (V_{\phi} \cdot \gamma_3 + C_0 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \Sigma\omega_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi} \cdot 9,8) = \\ &= \frac{1}{1} \cdot (129,7 \cdot 17 + 3,125 \cdot \cos(13,6^{\circ}) \cdot 102,4 + 0,9 \cdot 2,9 \cdot 9,8) = 2394,2 \cdot 10^3 \text{ Н}; \end{aligned}$$

$$N_{\sigma}^p \leq \frac{1}{K_H} (N_{\phi} + 0,9 G_{\phi} \cdot 9,8).$$

$693,797 < 2394,2 \cdot 10^3 \text{ Н}$, следовательно, выбранный фундамент удовлетворяет условию расчета по несущей способности.

Заключение: фундамент Ф5-2 выбран верн

4 Построение монтажных графиков

Пользуясь данными и результатами расчетов предыдущих примеров, для строящейся линии напряжением 110 кВ составим монтажную таблицу и построим монтажные графики провода для характерных пролетов линии.

При составлении монтажных графиков необходимо учесть вытяжку провода. Доля вытяжки при монтаже:

$$\nu = 0,05 \cdot \frac{F_A}{F_C} = 0,05 \cdot 6,2 = 0,31;$$

$$F = F_{cm} \cdot \frac{1 + 0,286 \cdot \frac{F_A}{F_C}}{1 + \frac{F_A}{F_C}} = 185 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 + 0,286 \cdot 6,2}{1 + 6,2} =$$

$$= 71,26 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$$

где F – модуль неупругости;

$$D = F_{cm} \cdot \frac{1 + 0,19 \cdot \frac{F_A}{F_C}}{1 + \frac{F_A}{F_C}} = 185 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 + 0,19 \cdot 6,2}{1 + 6,2} =$$

$$= 55,96 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$$

где D – модуль релаксации;

$$F_M = \frac{F}{1 + \left(\frac{F}{D} - 1\right) \cdot \nu} = \frac{71,26 \cdot 10^3}{1 + \left(\frac{71,26 \cdot 10^3}{55,96 \cdot 10^3} - 1\right) \cdot 0,31} =$$

$$= 65,69 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2.$$

где F_M – монтажный модуль упругости;

					ФЮРА.140205.001 ПЗ					
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Построение монтажных графиков					
Разраб.	Куренков К. Е.							<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Руковод.	Кулешова Е.О								108	
Консульт.								ТПУ ИнЭО гр. 3-9202		
Н.Контр										
Утвердил										

Для создания монтажных таблиц и построения графиков решается основное уравнение состояния провода для приведенного пролета:

$$l_{npв} = 0,9 \cdot l_{заб} = 0,9 \cdot 142,5 = 128,25 \text{ м.}$$

Для исходных условий, соответствующих режимам наименьшей температуры с учетом вычисленных модулей уравнение состояния будет иметь вид:

$$\sigma_M - \frac{\gamma_{II}^2 F_{M} l_{npв}^2}{24 \sigma_M^2} = \sigma_{нб} \cdot \frac{F_M}{D} - \frac{\gamma_{нб}^2 F_{M} l_{npв}^2}{24 \sigma_{нб}^2} + \alpha F_M (t_z - t_M)$$

Рассмотрим случай когда монтаж проводится при $t_M = t_{c2} = 0,3$ найдем значение A

Подставим численные значения:

$$A = \sigma_{нб} \cdot \frac{F_M}{D} - \frac{\gamma_{нб}^2 F_{M} l_{npв}^2}{24 \sigma_{нб}^2} + \alpha F_M (t_z - t_M)$$

$$A = 135 \cdot \frac{65,69 \cdot 10^3}{55,96 \cdot 10^3} - \frac{0,165^2 \cdot 65,69 \cdot 10^3 \cdot 128,25^2}{24 \cdot 135^2} + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 65,69 \cdot 10^3 \cdot (-5 - 1,1)$$

$$A = 83,528$$

$$B = \frac{\gamma_n^2 F_{M} l_{npв}^2}{24} = \frac{0,034^2 \cdot 65,69 \cdot 10^3 \cdot 128,25^2}{24} = 52040$$

Так как $A > 0$, то начальное приближение определим по формуле:

$$\sigma_{M0} = 1,02 \sqrt{B^{(2/3)} + A^2} = 1,02 \sqrt{52040^{(2/3)} + 83,528^2} = 93,322 \text{ Н/м}$$

Таблица 16 – Результаты расчетов монтажных напряжений

t	A	0	1	2
-43	139,139	146,9421	142,0669	141,7312
-40	135,356	143,2188	138,42	138,0868
-35	129,051	137,0298	132,3656	132,0376
-30	122,746	130,8643	126,3454	126,0243
-25	116,441	124,7255	120,3654	120,0533
-20	110,136	118,6178	114,4331	114,1326
-15	103,831	112,5461	108,5572	108,2718
-10	97,526	106,5165	102,7488	102,4824
-5	91,221	100,5368	97,0211	96,77848
0	84,916	94,61623	91,39049	91,17694
5	78,611	88,76677	85,87674	85,69774
10	72,306	83,00341	80,50376	80,36422
15	66,001	77,3454	75,29999	75,20295
20	59,696	71,81764	70,29845	70,24311
25	53,391	66,45265	65,53592	65,51521
30	47,086	61,29317	61,05051	61,04903
35	40,781	56,39565	56,87688	56,87099
39	35,737	52,71547	53,77877	53,74988

Таблица 17 – Результаты расчетов монтажных стрел провисания

t	f=128,25	f=142,5	f=178,125
-43	0,475727	0,587317	0,917682
-40	0,488094	0,602586	0,94154
-35	0,510139	0,629801	0,984064
-30	0,534174	0,659474	1,030428
-25	0,560465	0,691932	1,081143
-20	0,589324	0,72756	1,136813
-15	0,621117	0,766811	1,198142
-10	0,656276	0,810218	1,265965
-5	0,69531	0,858408	1,341262
0	0,738819	0,912122	1,425191
5	0,787505	0,972228	1,519107
10	0,842185	1,039735	1,624586
15	0,903793	1,115794	1,743429
20	0,973358	1,201676	1,877619
25	1,051941	1,298693	2,029207
30	1,14049	1,408013	2,20002
35	1,239533	1,530287	2,391074
39	1,326067	1,63712	2,558001

Строим графические зависимости монтажных стрел провисания в зависимости от температуры.

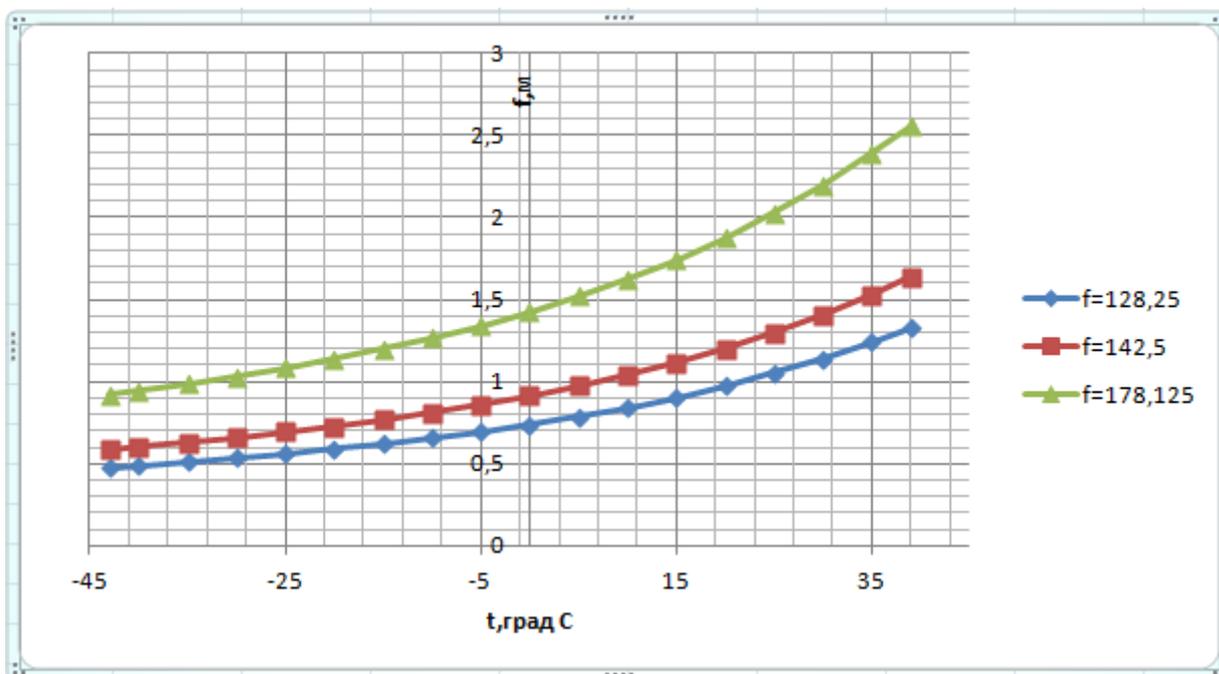


Рисунок 18 – Монтажные стрелы провисания в зависимости от температуры

5 Выбор гасителей вибрации для ВЛ Бийскэнерго – Бирюзовая Катунь

Провода и грозозащитные тросы линии подвержены одновременным действиям различных видов статических и динамических нагрузок. Статическое действие нагрузок соответствует состоянию провода или других частей конструкций и элементов линии, когда они не испытывают ускорения и в них не возникают добавочные динамические напряжения. При наличии ускорений возникают колебания, которые в некоторых случаях могут дать явления резонанса, связанные с резким увеличением напряжений. Поэтому колебания проводов являются одним из наиболее опасных явлений для элементов линии и могут в ряде случаев оказаться основным фактором, определяющим надежность линий.

На линии до 220 кВ включительно, трассы которых проходят в третьем районе по гололеду, а также в районах с интенсивной и частой пляской, рекомендуется применять комплексные ограничители гололедообразования и колебаний типа ОГК [2].

Ограничитель выполняется в виде двух грузов, установленных на консолях гибкого элемента из 19 жильного оцинкованного тросика (рис. 19) По середине элемента установлен зажим для крепления ограничителя к проводу. Грузы из круглой стали выполнены в виде полуокружности с консолями разной длины. Верхняя консоль, предназначенная для крепления гибкого элемента, короче нижней консоли. Основные геометрические размеры приведены в таблице 18.

					ФЮРА.140205.001 ПЗ			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Выбор гасителей вибрации для ВЛ Бийскэнерго – Бирюзовая Катунь</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Куренков К. Е.</i>						108	
<i>Руковод.</i>	<i>Кулешова Е.О</i>					ТПУ ИнЭО гр. 3-9202		
<i>Консульт.</i>								
<i>Н.Контр</i>								
<i>Утвердил</i>								

Установка ограничителя увеличивает жесткость провода на кручение. Это необходимо для того, чтобы предотвратить закручивание провода при отложении гололеда, первоначально нарастающего с наветренной стороны. Гребешок гололеда за счет повышенной жесткости провода на кручение приобретает более вытянутую форму в сторону аэродинамического потока. Отложения такого вида, с резко выраженной эксцентричной формой, либо осыпаются по мере их роста (при положительной температуре провода), либо постепенно прекращают свой рост (при отрицательной температуре), при этом предотвращается образование массивных гололедных муфт цилиндрической формы.

В целях унификации производства ограничителей предусматривается применение грузов массой 1, 3, 5 и 7 кг. Количество ограничителей, устанавливаемых в пролете линии зависит от крутильной жесткости провода, длины пролета, диаметра стального сердечника и провода в целом. Для линии 10-220 кВ с проводами различных марок принимаемый тип ограничителя и их количество приведены в таблице 19.

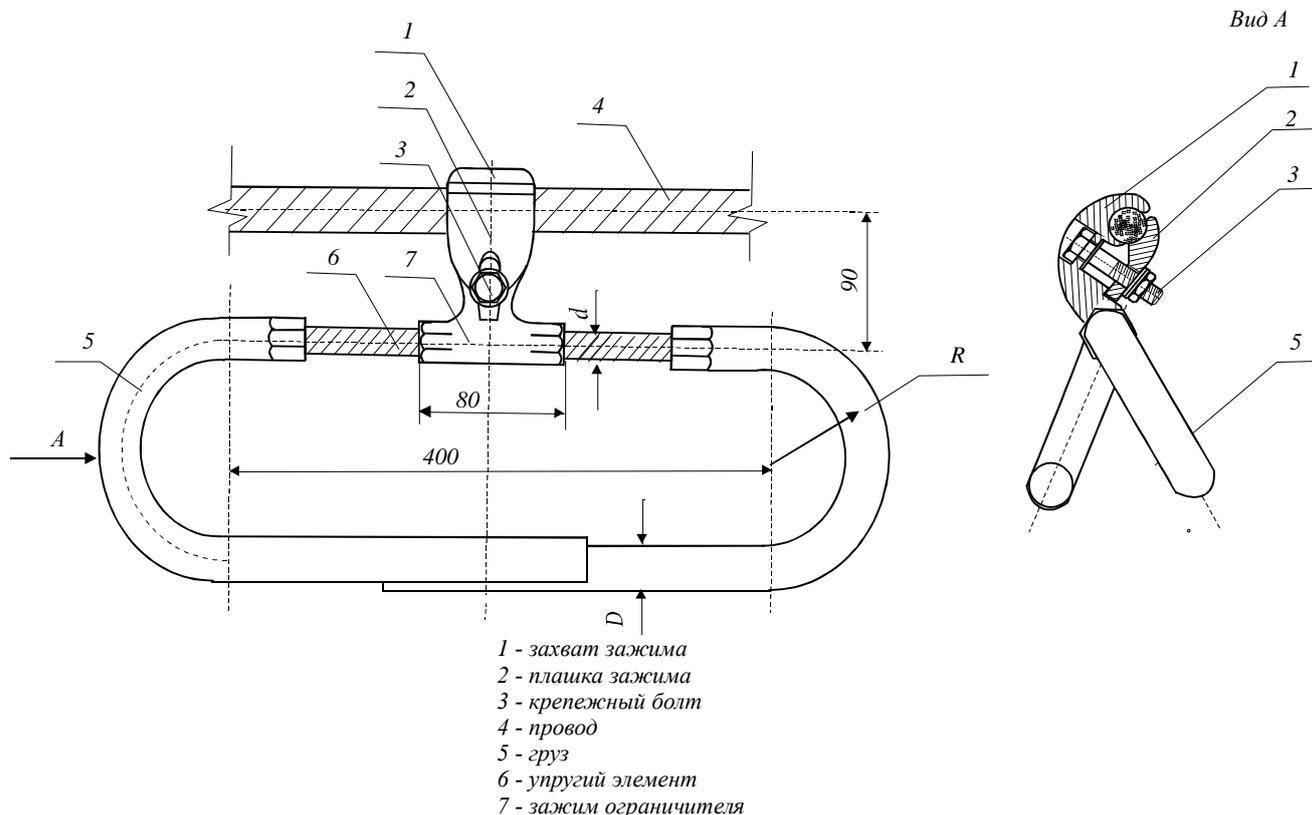


Рисунок 19 – Ограничитель гололедообразования и колебаний проводов и тросов линии

Таблица 18 – Параметры ограничителя ОГК-3,0-11

Диаметр провода на который устанавливается ограничитель, мм	Марка зажима Для Провода а	Диапазон частот для данного типа провода и каната, Гц	Основные параметры ограничителя			
			d, мм	D, мм	R, мм	Масса грузов, кг
7,8-21	1	10-55	11	18	100	1,5

Таблица 19 – Количество ограничителей в пролете

Марка провода	Марка ограничителя	Длина пролета (м) при рекомендуемом количестве ограничителей в пролете
		2
АС-150/24	ОГК-3,0-11	120-190

Маркировка ограничителя ОГК-3,0-11:

ОГК – ограничитель гололедообразования и колебаний;

3,0 – масса груза, кг;

11 – диаметр, мм.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель – данного проекта, проект новой линии 110 кВ «Бийская ТЭЦ – Бирюзовая Катунь». Строительство ВЛ 110 кВ ведется для обеспечения энергоснабжения особых экономических зон «Бирюзовая Катунь» и «Сибирская монета», а также, повышения энергобезопасности, улучшение качества энергоснабжения потребителей нескольких районов края, повышение инвестиционной привлекательности региона на территории ОЭЗ «Бирюзовая Катунь» и «Сибирская монета».

6.1 Количественная оценка научного уровня

Количественная оценка научного уровня может быть произведена путем расчета результативности участников разработки по формуле:

$$K_{\text{ну}} = \sum_{i=1}^n (K_{\text{дуй}} \cdot d_i) , \text{ где}$$

$K_{\text{ну}}$ – коэффициент научного или научно-технического уровня;

$K_{\text{дуй}}$ – коэффициент достигнутого уровня i -го фактора;

d_i – значимость i -го фактора;

n – количество факторов

					ФЮРА.140205.001 ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Куренков К. Е.					108	
Руковод.		Кулешова Е.О						
Консульт.								
Н.Контр								
Утвердил					ТПУ ИнЭО гр. 3-9202			

Таблица 6.1 – Оценка научного уровня разработки

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i -го фактора
	d_i	$K_{дyи}$	$K_{дyи} \cdot d_i$
Новизна полученных или предполагаемых результатов	0,2	0,2	0,04
Перспективность использования результатов	0,3	0,3	0,09
Завершенность полученных результатов	0,2	1	0,2
Масштаб возможной реализации полученных результатов	0,3	0,2	0,06
Результативность	$K_{ny} = \sum(K_{дyи} \cdot d_i) = 0,39$		

Новизна полученных или предполагаемых результатов. В данной исследовательской работе обобщён имеющийся опыт предыдущих исследований по построению моделей на основе программных комплексов для прогнозирования перетоков балансов мощности.

Перспективность использования результатов. Результаты исследовательской работы можно использовать в будущем, для планирования максимально допустимых перетоков мощности в ЭС.

Завершенность полученных результатов. Полученные результаты требуют доработки для рационального использования в дальнейшем, и корректировки под исследуемые объекты энергетики.

Масштаб возможной реализации полученных результатов. Результатами исследовательской работы возможно в дальнейшем руководствоваться при формировании краткосрочных и долгосрочных прогнозов потребления электрической энергии и мощности.

6.2. Планирование выполнения научно-исследовательской работы

Последовательность выполнения научно-исследовательской работы, а также ее содержание зависят от предмета исследования, сложности научно-исследовательской работы, актуальности и новизны темы.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в данном случае в состав группы входят руководитель и инженер, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Таблица 6.2 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность
Разработка	1	Составление и утверждение	Руководитель
Подготовительные работы	2	Утверждение и уяснения сути задачи	Инженер
	3	Подготовка рабочего места, закупка	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер
	5	Календарное планирование работ по	Руководитель
Проведение моделирования и оценка результатов	6	Выбор среды программирования	Инженер
	7	Моделирование схемы	Инженер
	8	Расчет нормального установившегося	Инженер

Продолжение Таблица 6.2

	9	Расчет послеаварийного режима	Инженер
	10	Анализ полученных данных	Инженер
	11	Принятие решений по изменению существующей схемы выдачи мощности	Руководитель проекта
			Инженер
	12	Оценка полученных результатов	Инженер
13	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта	
		Инженер	
Контроль и координирование	14	Проверка пояснительной записки руководителем	Руководитель проекта
Составление пояснительной	15	Сдача работы заказчику	Инженер

6.3 Определение трудоемкости и разработка графиков проведения научного исследования

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (3)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p . Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4)$$

,где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел [12].

Расчет трудоемкости выполнения работ сведем в таблицу 4.3.

Таблица 6.3 - Временные показатели научного исследования проведения

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни		
Составление и утверждение технического задания	2		4				3
Утверждение и уяснения сути задачи		5		6		5,4	5
Подготовка рабочего места, закупка необходимых материалов и программных комплексов		10		12		10,8	11
Выбор направления исследований	2	2	5	5	3,2	4	3
Календарное планирование работ по теме	2		2		2	2,8	2

Продолжение Таблица 6.3

Выбор среды программирования		2		3		2,4		2
Моделирование схемы в ПК Mustang		12		14		12,8		13
Расчет нормального установившегося режима		8		10		8,8		9
Расчет послеаварийного режима		9		11		9,8		10
Анализ полученных данных		8		12		9,6		10
Принятие решений по изменению существующей схемы выдачи мощности	2	2	4	4	2,8	2,8	3	3
Оценка полученных результатов		10		11		10,4		10
Составление пояснительной записки	4	8	6	10	5	10	5	10
Проверка пояснительной записки руководителем	6		8		6,8		7	
Сдача работы заказчику		8		10		8,8		9
Суммарное количество рабочих дней Т	Руководитель проекта				23			
	Инженер				95			

Таблицы 6.3 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени.

Инженер - 

Руководитель - 

Название работы	Февраль			Март			Апрель			Май		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление и утверждение технического задания	■											
Утверждение и уяснения сути задачи		■										
Подготовка рабочего места, закупка необходимых материалов		■	■									
Выбор направления исследований			■									
Календарное планирование работ по теме			■									
Выбор среды программирования				■								
Моделирование схемы в ПК Mustang				■	■							
Расчет нормального установившегося режима					■	■						
Расчет послеаварийного режима						■	■					
Анализ полученных данных							■	■				
Принятие решений по изменению существующей схемы выдачи мощности								■	■			
Оценка полученных результатов									■	■		
Оценка полученных результатов прогноза потребления										■	■	
Контроль качества выполнения проекта										■	■	
Составление пояснительной записки												■

Рисунок 20 – Календарный план-график проведения НТИ

6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Рассчитанные затраты будут отражать минимальную величину бюджета НИР.

Расчет материальных затрат НТИ

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

В таблице 6.4 указан перечень материальных затрат и их стоимость.

Таблица 6.4 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед.,руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага	Пачка	1	150	150
Ручка	Штука	2	45	90
Картридж для принтера	Штука	1	1200	1200
Карандаш механический	Штука	1	40	40
Итого				1480

В итоге материальные затраты составили 1480 рублей.

– Амортизационные отчисления

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Расчет амортизации проводился следующим образом:

$$A=(H_A * I) / 12 * m \quad (5)$$

,где I– итоговая стоимость оборудования в тыс.руб.;

Н_А– норма амортизации;

т – время использования в месяцах.

Норма амортизации находится по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (6)$$

,где n – срок полезного использования.

Таблица 6.5 – Затраты на оборудование

№	Наименование	Кол-во единиц	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость, тыс. руб.	Срок службы	Амортизация, тыс. руб.
1	Ноутбук Sony Vaio vpcsb3m1r	2	25	50	3	4,125
2	Принтер HP LaserJet	1	25	25	3	2,063
3	Компьютерный стол	2	8	10	10	0,25
4	Стул	2	3	6	10	0,15
Общая стоимость оборудования, тыс.руб.					91	
Амортизация, тыс.руб.					6,588	

6.5 Оплата труда

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата научных и инженерно-технических работников.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{ЗП} = (Z_{ОСН} + Z_{ДОП}) \cdot K_{РН} \quad (7)$$

,где $Z_{ОСН}$ – основная заработная плата;

$Z_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата;

$K_{РН}$ – районный коэффициент (для Томска равен 1,3)

Для инженера $Z_{ДОП}$ принимается на уровне 8% от основной заработной платы, для руководителя – 16%.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{ОСН} = Z_{МЕС} \cdot t_{МЕС} \quad (8)$$

,где $t_{мес}$ – затраченное время на работу сотрудником в месяцах (отношение всех отработанных дней к 21 рабочему дню в месяце);

$Z_{мес}$ – заработная плата работника за один месяц, руб.

Зарботная плата за один месяц рассчитывается по формуле:

$$Z_{МЕС} = Z_{ОКЛАД} \cdot Z_{ДОП} \cdot K_{РН} \quad (9)$$

,где $Z_{ОКЛАД}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$K_{РН}$ – районный коэффициент (для Томска равен 1,3).

Расчет сведем в таблицу 6.6

Таблица 6.6 – Расчет заработной платы, за период проведения НИР

Исполнитель	$Z_{окл}, руб.$	$Z_{мес}, руб.$	$Z_{осн}, руб.$	$Z_{доп}, руб.$	$\Sigma Z_{зп}, руб.$
Руководитель проекта	25000	37700	41290	5200	155616
Инженер	18000	25272	114326	1872	

6.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{ВНЕБ} = k_{ВНЕБ} \cdot (Z_{ОСН} + Z_{ДОП}) \quad (10)$$

, где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и другие).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, введена пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 6.7 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	З _{зп} , руб,	З _{внеб} , руб
Руководитель проекта	41290	11190
Инженер	114326	30982
Итого		42172

6.7 Прочие расходы

Прочие расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов и рассчитываются по формуле

$$Z_{\text{ПР}} = (Z_M + Z_A + Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{ВНЕБ}}) \cdot k_{\text{НР}} \quad (11)$$

,где $Z_{\text{МЗ}}$ – материальные затраты;

Z_A – затраты на амортизацию;

$Z_{\text{ЗП}}$ – заработная плата работников;

$Z_{\text{ВНЕБ}}$ – отчисления во внебюджетные фонды;

$k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий неучтенные расходы. Величина коэффициента неучтенных расходов берется в размере 10%.

$$Z_{\text{пр}} = (1480 + 6588 + 155616 + 42172) \cdot 0,1 = 20586 \text{ руб.}$$

6.8 Накладные расходы

Затраты на накладные расходы рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{НАКЛ}} = \sum Z_{\text{ОСН}} \cdot k_{\text{НР}} \quad (12)$$

где $k_{\text{НР}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (200-400% от заработной платы).

Величину коэффициента накладных расходов примем в размере 300%.

$$Z_{\text{накл}} = 155616 \cdot 3 = 466848 \text{ руб.}$$

6.9 Расчет прибыли

Рассчитываем себестоимость проекта (С).

$$\begin{aligned} Z_{\text{себ}} &= Z_{\text{мат}} + Z_{\text{ам. комп. техн}} + Z_{\text{зар. плата}} + Z_{\text{соц. отч}} + Z_{\text{накл. расх}} + Z_{\text{прочие}} = \\ &= 1480 + 4125 + 203498 + 53251 + 554928 + 26482 = 843762 \text{ рублей.} \end{aligned}$$

Тогда прибыль составит

$$\Pi = Z_{\text{себ}} \cdot K_{\text{ну}} = 693290 \cdot 0,39 = 270383 \text{ рублей.}$$

Итого, все статьи бюджета сведем в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Затраты, руб.	Доля в себестоимости, %
Материальные затраты НТИ	1480	0,21
Амортизация	6588	0,95
Затраты по заработной плате	155616	22,45
Отчисления во внебюджетные фонды	42172	6,08
Прочие расходы	20586	2,97
Накладные расходы	466848	67,34
Себестоимость проекта	693290	100
Прибыль, руб.	270983	
Цена проекта, руб.	963673	

Цена проекта определяется как сумма себестоимости и прибыли:

$$Ц=C+П=693290 + 270383= 963673 \text{ рублей.}$$

Вывод: Результатом данной работы является СВМ, которая может быть использована на предприятии как для проведения дальнейших научно-исследовательских работ, с целью более подробного описания влияния отдельных параметров на перетоки мощности в ЭС, так и для использования данной электронной модели с целью осуществления прогнозирования возможных перетоков мощности, ввиду изменения состава оборудования СВМ.

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 118 страниц, 31 таблицу, 22 рисунка.

Ключевые слова: линия, изолятор, провод, пролет, опора, фундамент, сечение.

Объектом проектирования является линия электропередач 110 кВ строительство линии Бийскэнерго-Бирюзовая Катунь, цель – повысить надежность и качество электроснабжения существующих потребителей юго-восточных районов Алтайского края, обеспечить энергоснабжение особой экономической зоны туристско-рекреационного типа «Бирюзовая Катунь», возможность подключения к электросетям новых объектов: жилой застройки, промышленных предприятий, агропромышленных производств, игровой зоны «Сибирская монета».

Для решения данной задачи предлагается:

1. выбрать сечение провода;
2. выбрать изоляторы;
3. рассчитать габаритный пролет, построить шаблон;
4. выбрать грозозащитный трос;
5. выбрать опоры, фундаменты;
6. построить монтажный график;
7. выполнить расчет технико – экономических показателей спроектированной линии.

В результате исследования выбраны провода, опоры, изоляторы, фундаменты, соответствующие требованиям ПУЭ при проектировании высоковольтной линии 110 кВ.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 7.0, Microsoft Excel, графическом редакторе Microsoft Visio.