Аннотация

Курсовой проект выполнен в объеме: расчетно-пояснительная записка на 38 листов формата А4, лист с индивидуальным заданием, 18 таблиц, 5 рисунков, 2 листа формата А1 с выполненной на них графической частью проекта.

Ключевые слова:

электроснабжение;

трансформатор;

мощность;

напряжение;

нагрузка;

потери;

надбавки;

регулировочное ответвление;

послеаварийный режим.

В данном курсовом проекте был осуществлен расчет и проектирование Высоковольтной линии-110 *кВ* для электроснабжения сельского хозяйства.

Содержание

[Введение](#_Toc272206747)

[Исходные данные к проектированию](#_Toc272206748)

[1.1 Составление схемы сети 110 кВ](#_Toc272206749)

[1.2 Выбор числа и мощности трансформаторов ТП](#_Toc272206750)

[1.3 Приведение нагрузок к высшему напряжению](#_Toc272206751)

[1.4 Расчет сложнозамкнутой сети 110 кВ](#_Toc272206752)

[1.5 Выбор сечений проводов участков линии 110 кВ](#_Toc272206753)

[1.6 Определение токораспределения по участкам с учетом сопротивлений выбранных проводов без учета потерь мощности](#_Toc272206754)

[1.7 Определение потерь в узлах с учетом потерь мощности](#_Toc272206755)

[1.8 Выбор надбавок (ответвлений) трансформатора](#_Toc272206756)

[1.9 Расчет послеаварийного режима](#_Toc272206757)

[1.10 Анализ и заключение по результатам электрического расчета режимов работы сети](#_Toc272206758)

[2. Механический расчет воздушной линии 110 кВ](#_Toc272206759)

[2.1 Выбор материала и типа опор ВЛ-110 кВ](#_Toc272206760)

[2.2 Определение удельных нагрузок на провода](#_Toc272206761)

[2.3 Определение критических пролетов](#_Toc272206762)

[2.4 Систематический расчет проводов и тросов](#_Toc272206763)

[2.5 Расчет монтажных стрел провеса](#_Toc272206764)

[Литература](#_Toc272206765)

## Введение

В данном курсовом проекте был осуществлен расчет и проектирование ВЛ-110 *кВ* для электроснабжения сельского хозяйства.

В ходе расчета был произведен выбор числа и мощности трансформаторов; составление схемы замещения; выбор сечения проводов линии 110 *кВ*; определение напряжения; расчет послеаварийного режима; выбор материала и типа опор ВЛ; определение критических пролетов; расчет монтажных стрел провеса.

Данное курсовое проектирование имеет цель ознакомления с основными приемами и методами проектирования элементов систем электроснабжения сельского хозяйства, проявления навыков самостоятельной работы с технической литературой и нормативными документами, дает возможность проявить самостоятельность в выборе решений, связанных с оптимизацией параметров сети.

## Исходные данные к проектированию

Вариант № 24:

Напряжение на шинах опорного узла А: 119 *кВ*.

Номер линии в аварийном состоянии: .

Климатические условия:

район по ветру: ;

район по гололеду: ;

температура:

высшая: ;

средняя: ;

низшая: .

Время использования максимальной нагрузки:  *ч*.

Длины участков:

 *км*;  *км*;  *км*;  *км*;  *км*;  *км*;  *км*.

Мощность потребителя (*МВ⋅А*) /соs:

ТП1: ; ТП2: ; ТП3: ; ТП5: ; ТП6: .

## 1.1 Составление схемы сети 110 кВ

Составляем расчетную схему трансформаторных подстанций с учетом варианта:

1

2

3

6

5

А

























ТП1

ТП2

ТП3

ТП5

ТП6

122 кВ

Рис.1. Схема сети с опорным узлом А.

## 1.2 Выбор числа и мощности трансформаторов ТП

Принимаем по умолчанию II категорию потребителей, терпящих перерывы в электроснабжении. Соответственно, на подстанциях устанавливаем по одному трансформатору. Его мощность выбираем с учетом длительно допустимой 30% перегрузки.

Трансформаторы выбираем по каталожным данным [1,2,3] с учетом заданной мощности потребителей и уровня номинального напряжения. Сведения заносим в таблицу:

Таблица 1. Технические данные выбранных трансформаторов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №ТП | Тип | , *МВ⋅А* | Пределы регулиро-вания | Каталожные данные | Расчетные данные |
|  обмоток, *кВ* | ,% | , *кВт* | , *кВт* | ,% | , *Ом* | , *Ом* | , *квар* |
| ВН | НН |
| 1 | ТМН -  | 16 |  | 115 | 6,5; 11 | 10,5 | 85 | 19 | 0,7 | 4.38 | 86.7 | 112 |
| 2 | ТМН -  | 10 |  | 115 | 6,6; 11 | 10,5 | 60 | 14 | 0,7 | 7,95 | 139 | 70 |
| 3 | ТМН  | 16 |  | 115 | 6,5; 11 | 10,5 | 85 | 19 | 0,7 | 4.38 | 86.7 | 112 |
| 5 | ТМН -  | 25 |  | 115 | 6,5; 10,5 | 10,5 | 120 | 27 | 0,7 | 2,54 | 55,9 | 175 |
| 6 | ТМН -  | 25 |  | 115 | 6,5; 10,5 | 10,5 | 120 | 27 | 0,7 | 2,54 | 55,9 | 175 |

## 1.3 Приведение нагрузок к высшему напряжению

Нагрузка электрической сети задана на шинах низшего напряжения ТП. Вместе с тем, нагрузка высшего напряжения больше заданной нагрузки на величину потерь мощности в трансформаторах. Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что линия обладает зарядной мощностью, которая уменьшает общую реактивную нагрузку сети.

Приводим заданные нагрузки к высшему напряжению, используя формулу:



,

где , - соответственно активная и реактивная мощности, заданные на

вторичной стороне ТП;

, - суммарные активные и реактивные сопротивления трансформа-

торов данной ТП;

 - номинальное напряжение трансформатора;

 - суммарная зарядная мощность линий, приложенная в точке

подключения данной нагрузки (ТП).

Зарядную мощность определяем, (*Мвар*):

,

где  - номинальное напряжение сети;

 - суммарная длина линий;

 - реактивная проводимость линии (принимаем для минимального сечения (70 мм2)  *См/км*).

Так как, зарядная мощность распространяется по всей длине линии, то принято схематично распределять ее в начале и в конце линии. Поэтому, полученное  в точке подключения нагрузки, т.е. На шинах высшего напряжения ТП, необходимо разделить на два.

 (*Мвар*);

 (*Мвар*);

 (*Мвар*);

 (*Мвар*);

 (*Мвар*).



;



;



;



;



.

## 1.4 Расчет сложнозамкнутой сети 110 кВ

Для расчета необходимо составить схему замещения электрической сети, в которой - направление мощности становится произвольно, определяется число независимых контуров.

Расчет такой сети ведут в 2 этапа: определяют потокораспределение на участках без учета потерь мощности; рассчитывают потери мощности, потокораспределение по участкам с учетом потерь мощности и направление в точках сети.

 1  2

  

   

 

  3

 A

  

 

  

 6 5

 

  

Рис. 2. Схема электрической сложнозамкнутой сети.

Определяем число независимых контуров и задаемся неизвестными мощностями, согласно числу контуров:  и . Затем выражаем потоки мощностей на каждом участке через принятые неизвестные мощности. Выраженные мощности участков сводив в таблицу:

Для узла 6:

   

 

Для узла 3:

   

 

Аналогично для остальных узлов.

Таблица 2. Выраженные мощности участков

|  |  |
| --- | --- |
| № участка | Выраженные мощности участков |
|  |  |

Выполним проверку правильности вычисления: сумма всех мощностей должна быть равна мощности источника (точка ):

.

Для нахождения  и  составим систему:



Для  контура:

по :



;

по :





Для  контура:

по :



;

по :



.

Получаем две системы уравнений:

 и .

Перегруппируем системы для дальнейшего их решения:

 и .

Решая данные системы находим соответственно: ; ; ; ;

Подставляем в таблицу 2 вместо , , ,  их значения:

Таблица 3. Численные значения выражений мощностей участков

|  |  |
| --- | --- |
| № участка | Выраженные мощности участков |
|  |  |

## 1.5 Выбор сечений проводов участков линии 110 кВ

Зная мощности участков линий, определяем полную мощность и ток, протекающий по ним, а полученные данные сводим в таблицу 4.

Расчет производим по следующим формулам:

; ,

Таблица 4. Расчетные данные

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № участка | Выраженная мощность | Полная мощность , *МВ⋅А* | Ток на участке , *А* |
|  |  |  |  |

Выбор сечения проводов линии 110 *кВ* проводится с учетом ряда факторов, например, технико-экономическое сравнение различных вариантов капиталовложений, т.е. сечения проводов должны соответствовать оптимальному соотношению между капитальными затратами на сооружение линий, которые растут с увеличением сечения провода, и расходами, связанными с потерями энергии, уменьшающимися при увеличении сечений проводов. Немаловажным показателем является механическая прочность проводов воздушных линий, а также условия образования короны. Однако для упрощенных решений этой задачи, согласно ПУЭ, можно выбрать сечения проводов, используя расчеты методом экономической плотности тока [5].

,

где  - расчетное значение тока в режиме наибольших нагрузок, проходящих по линии, *А*;  - экономическая плотность тока для заданных условий работы линии, *А/мм2* - для всех участков одинаковая (зависит от материала провода (Аl) и времени использования) ().

Расчетные сечения, номинальные значения сечений (с учетом минимальных допустимых значений по механической прочности) и другие технические данные проводов по участкам сводится в таблицу 5.

Расчет  и  производим по следующим формулам: ; .

Таблица 5. Технические данные проводов участков линии

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № участка (длина , *км*)  | , *мм2* | , *мм2* | , *Ом/км* (при )  | , *Ом/км* | , *См/км* | , *Мвар/км* | , *Ом* | , *Ом* | , *мм* |
| А-6 (20)6-5 (10)2-3 (25)3-5 (40)1-5 (21)1-2 (20)А-1 (19)  | 157,688,913,814,325,737,1184,9 | 150/2495/1670/1170/1170/1170/11185/29 | 0, 1980,3060,4280,4280,4280,4280,162 | 0,4200,4340,4440,444 0,4440,4440,413 | 0,02700,02610,02550,02550,02550,02550,0275 | 0,0360,0350,0340,0340,0340,0340,037 | 3,963,0610,7117,128,998,563,08 | 8,404,3411,1017,769,328,887,85 | 17,113,511,411,411,411,418,8 |

## 1.6 Определение токораспределения по участкам с учетом сопротивлений выбранных проводов без учета потерь мощности

Для выполнения данного пункта задания необходимо рассмотреть два контура и решить уравнения:

.

Для решения представим нашу схему сети 110 *кВ* (рис.2) в виде схемы замещения:

 8,56 8,88































 7,85 10,70

3,08 8,99 11,10

 9,32

 17,12

 3,96

 17,76

 8,40 3,06 4,34

3. Схема замещения сети 110 *кВ*.

Таблица 6. Выраженные мощности участков

|  |  |
| --- | --- |
| № участка | Выраженные мощности участков  |
|  |  |

Составляем уравнения для первого контура:

















Составляем уравнения для второго контура:







 







Решив полученную систему находим:

; ; ; .

Подставляя полученные значения в выраженные мощности участков, производим перерасчет сечений проводов, с учетом сопротивлений выбранных ранее проводов.

Таблица 7. Численные значения выражений мощностей участков

|  |  |
| --- | --- |
| № участка | Выраженные мощности участков  |
|  |  |

Зная мощности участков линий, определяем полную мощность и ток, протекающий по ним, а полученные данные сводим в таблицу 8.

Таблица 8. Расчетные данные

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № участка | Выраженная мощность | Полная мощность , *МВ⋅А* | Ток на участке , *А* |
|  |  |  |  |

Согласно пересчитанному току на каждом из участков производим повторный выбор сечений проводов с учетом сопротивлений на данном участке. Следовательно, заполняем повторно таблицу с техническими данными проводов участков линий.

Таблица 9. Технические данные проводов участков линии

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № участка (длина , *км*)  | , *мм2* | , *мм2* | , *Ом/км* (при )  | , *Ом/км* | , *См/км* | , *Мвар/км* | , *Ом* | , *Ом* | , *мм* |
| А-6 (20)6-5 (10)2-3 (25)3-5 (40)1-5 (21)1-2 (20)А-1 (19)  | 155,5586,3014,3013,8827,3437,65187,05 | 150/2495/1670/1170/1170/1170/11185/29 | 0, 1980,3060,4280,4280,4280,4280,162 | 0,4200,4340,4440,444 0,4440,4440,413 | 0,02700,02610,02550,02550,02550,02550,0275 | 0,0360,0350,0340,0340,0340,0340,037 | 3,963,0610,717,128,998,563,08 | 8,44,3411,117,769,328,887,85 | 17,113,511,411,411,411,418,8 |

## 1.7 Определение потерь в узлах с учетом потерь мощности

Для определения потери мощности на участках используем формулу:

,

где , - соответственно активная и реактивная составляющие мощности участка линии, взятые из таблицы 8, *МВт, Мвар*;

, - соответственно активная и реактивная составляющие сопротивления рассматриваемой линии.



;

Тогда мощность в начале участка А-6 будет:



Для определения мощности в начале участка 6-5 используем I закон Кирхгофа:

.

Аналогичным образом находим мощности в начале и конце каждого из участков, а также потери мощности на данных участках. Полученные данные сводим в таблицу 10.

Таблица 10. Рассчитанные значения мощностей в начале и в конце линий, потери мощности на участках

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № участка линии | Мощность в начале | Мощность в конце | Потери мощности |
|  |  |  |  |

Для определения напряжений в узлах сети в качестве отправной точки используем напряжение опорного узла А:  *кВ*. Тогда в узловой точке 6 на шинах трансформаторной подстанции напряжение , без учета поперечной составляющей напряжения, будет равно:

,

 *кВ*.

Здесь  - продольная составляющая падения напряжения.

 *кВ*

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*.

## 1.8 Выбор надбавок (ответвлений) трансформатора

Напряжение на шинах низшего напряжения ПС, приведенное к стороне высшего напряжения, можно получить, если из напряжения вычесть падение напряжения в трансформаторе (также без учета поперечной составляющей падения напряжения):

,

где  - низшее напряжение, приведенное к высшей стороне;

 - высшее напряжение на шинах ТП;

, - нагрузка подстанции соответственно активная и реактивная;

, - соответственно активное и реактивное сопротивление ТП.

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*.

Определяем желаемое (расчетное) напряжение регулировочного ответвления обмотки высшего напряжения трансформатора:

,

где  - номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора;

 - напряжение желаемое, которое необходимо поддерживать на шинах низшего напряжения в различных режимах работы сети.

Ведем расчет для режима наибольших нагрузок:

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*.

Согласно полученным значениям  по таблице10 [7] определяем действительное напряжение ответвления и соответствующую ему добавку напряжения:

 *кВ*, %;

 *кВ*, %;

 *кВ*, %;

 *кВ*, %;

 *кВ*, %.

Определим действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанции:

.

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*.

Для сети 10 *кВ* в режиме наибольших нагрузок и в послеаварийных режимах должно поддерживаться напряжение не менее 10,5 *кВ*, а в режиме наименьших нагрузок - не более 10 *кВ*. Допускается для сети 10 *кВ*, если в послеаварийных режимах невозможно обеспечить напряжение 10,5 *кВ*, другой уровень напряжения, но не ниже 10 *кВ*.

Согласно данному условию проверяем теперь и в последующем соблюдение его для , ,  соответственно.

В данном случае, в режиме наибольших нагрузок, данное условие соблюдается полностью.

Ведем расчет для режима наименьших нагрузок с учетом того, что напряжение  в режиме наименьших нагрузок больше соответствующего напряжения в режиме наибольших нагрузок на 2%, Т.о.:

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*.

Определяем желаемое (расчетное) напряжение регулировочного ответвления обмотки высшего напряжения трансформатора в режиме наименьших нагрузок:

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*.

Согласно полученным значениям  по таблице10 [7] определяем действительное напряжение ответвления и соответствующую ему добавку напряжения:

 *кВ*, %;

 *кВ*, %;

 *кВ*, %;

 *кВ*, %;

 *кВ*, %;

Определим действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанции:

.

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*.

В режиме наименьших нагрузок действительное напряжение  меньше допустимо возможного 10 *кВ*, что соответствует поставленному выше условию.

## 1.9 Расчет послеаварийного режима

В соответствии с заданием создается аварийная ситуация, когда одна из линий выходит из строя. Расчет в послеаварийном режиме выполняется аналогично, как и в режиме нормальных нагрузок. Для расчета составляется схема замещения с нанесением исходных данных.

























 8,56 8,88

 7,85 10,70

 3,08 11,10

 17,76

 3,96

 8,40 3,06 4,34 17,12

Рис.4. Схема замещения сети 110 *кВ* в послеаварийном режиме.

Необходимо произвести перерасчет токораспределения по участкам с учетом сопротивлений выбранных проводов без учета потерь мощности. Таким образом, необходимо рассмотреть один контур и решить для него систему уравнений:

.

Выразим мощности на участках с учетом разрыва линии 1-5.

Таблица 11. Выраженные мощности участков

|  |  |
| --- | --- |
| № участка | Выраженные мощности участков  |
|  |  |



;





;



;



 ;

.

Решив полученную систему находим: ; .

Подставляя полученные значения в выраженные мощности участков, производим перерасчет сечений проводов, с учетом сопротивлений выбранных ранее проводов в послеаварийном режиме.

Таблица 12. Численные значения выражений мощностей участков линии в послеаварийном режиме

|  |  |
| --- | --- |
| № участка | Выраженные мощности участков  |
|  |  |

Зная мощности участков линий, определяем полную мощность и ток, протекающий по ним в послеаварийном режиме линии, а полученные данные сводим в таблицу 13.

Таблица 13. Расчетные данные

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № участка | Выраженная мощность | Полная мощность , *МВ⋅А* | Ток на участке , *А* |
|  |  |  |  |

Согласно пересчитанному току на каждом из участков рассчитываем сечения провода в послеаварийном режиме, но этот расчет никак не будет влиять на выбранные при нормальном режиме нормированные сечения проводов. Таким образом, заполняем таблицу с техническими данными проводов оставляя выбранные ранее нормированные значения сечений проводов.

Таблица 14. Технические данные проводов участков линии

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № участка (длина , *км*)  | , *мм2* | , *мм2* | , *Ом/км* (при )  | , *Ом/км* | , *См/км* | , *Мвар/км* | , *Ом* | , *Ом* | , *мм* |
| А-6 (20)6-5 (10)2-3 (25)3-5 (40)1-5 (21)1-2 (20)А-1 (19)  | 176,06107,6531,7835,7953,54170,82 | 150/2495/1670/1170/1170/11185/29 | 0, 1980,3060,4280,4280,4280,162 | 0,4200,4340,4440,4440,4440,413 | 0,02700,02610,02550,02550,02550,0275 | 0,0360,0350,0340,0340,0340,037 | 3,963,0610,717,128,563,08 | 8,44,3411,117,768,887,85 | 17,113,511,411,411,418,8 |

Определяем потери в узлах с учетом потерь мощности для послеаварийного режима.



;

Тогда мощность в начале участка А-6 будет;

.

Для определения мощности в начале участка 6-5 используем I закон Кирхгофа:

.

Аналогичным образом находим мощности в начале и конце каждого из участков, а также потери мощности на данных участках. Полученные данные сводим в таблицу 15.

Таблица 15. Рассчитанные значения мощностей в начале и в конце линий, потери мощности на участках

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № участка линии | Мощность в начале | Мощность в конце | Потери мощности |
|  |  |  |  |

Определяем напряжения в узлах сети, исходя из того, что  *кВ*:









.

Рассчитываем напряжение на шинах низшего напряжения ПС, приведенное к стороне высшего напряжения, :

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*.

Определяем желаемое (расчетное) напряжение регулировочного ответвления обмотки высшего напряжения трансформатора для послеаварийного режима:

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*.

Согласно полученным значениям  по таблице10 [7] определяем действительное напряжение ответвления и соответствующую ему добавку напряжения для послеаварийного режима:

 *кВ*, %;

 *кВ*, %;

 *кВ*, %;

 *кВ*, %;

 *кВ*, %.

Определим действительное напряжение на шинах низшего напряжения подстанции:

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*;

 *кВ*.

В послеаварийном режиме действительное напряжение  больше допустимо возможного 10,5 *кВ*, что соответствует поставленному выше условию.

## 1.10 Анализ и заключение по результатам электрического расчета режимов работы сети

Полученные результаты расчетов в нормальных и послеаварийных режимах сводим в таблицу 16:

Таблица 16. Результаты расчетов различных режимов линии

|  |  |
| --- | --- |
| Напряжение, *В* | Номер ТП |
| 1 | 2 | 3 | 5 | 6 |
| ***Режим наибольших нагрузок***:Расчетное регул-ое ответвление Стандартное регул-ое ответвление Приведенное напряжение на шинах низшего напряжения Действительное напряжение на шинах низшего напряжения Отклонение напряжения  | 110,28108,9105,2710,635,34 | 115,53115110,2810,550 | 115,15115109,9210,510 | 111,30110,9106,2410,543,56 | 116,24115110,9610,610 |
| ***Режим наименьших нагрузок***:Расчетное регул-ое ответвление Стандартное регул-ое ответвление  на шинах низшего напряжения на шинах низшего напряжения***Отклонение напряжения***  | 118,12119,1107,389,92+3,56 | 123,74125,2112,499,88+8,9 | 123,33125,2112,129,85+8,9 | 119,21119,1108,3710,00+3,56 | 124,50125,2113,189,94+8,9 |
| ***Послеаварийный режим***:Расчетное регул-ое ответвление Стандартное регул-ое ответвление  на шинах низшего напряжения на шинах низшего напряженияОтклонение напряжения  | 110,73108,9105,7010,675,34 | 115,61115110,3610,560 | 114,80113109,6110,671,78 | 111,15110,9106,1010,523,56 | 116,21115110,9310,610 |

## 2. Механический расчет воздушной линии 110 кВ

Проектирование линий электропередачи ведется согласно схеме развития электрической системы.

Для механического расчета выбранных сечений проводов, определения допустимых пролетов ВЛ необходимо знать климатические условия: толщину стенки гололеда, максимальную скорость ветра, высшую, низшую и среднегодовую температуру.

С целью сокращения объема курсового проекта, механический расчет ВЛ-110 кВ выполняется для линии, соединяющей две узловые точки (1-5).

## 2.1 Выбор материала и типа опор ВЛ-110 кВ

Опоры воздушных линий поддерживают провода на необходимом расстоянии от поверхности земли, проводов других линий, крыш зданий и т.п. Опоры должны быть достаточно механически прочными в различных метеорологических условиях (ветер, гололед и пр).

Рис.5. Промежуточная двухцепная опора ВЛ 110 *кВ*

В качестве материала для опор на сельских линиях широко применяют древесину деревьев хвойных пород, в первую очередь сосны и лиственницы, а затем пихты и ели (для линий напряжением 35 *кВ* и ниже). Для траверс и приставок опор ель и пихту применять нельзя.

Все большее распространение получают железобетонные опоры, изготавливаемые на специальных предприятиях. для напряжений не более 35 *кВ* линии изготавливают на вибрированных стойках, на двухцепных линиях (рис.5) 35 и 110 *кВ* - также на центрифугированных стойках. Их срок службы в среднем в два раза выше, чем на деревянных, хорошо пропитанных опорах. Отпадает необходимость в использовании древесины, повышается надежность электроснабжения. Железобетонные конструкции обладают высокой механической прочностью и долговечностью, но недостатком их является большая масса.

Отсутствие высокопрочных сталей и бетона соответствующих марок долгое время не позволяло применять железобетонные опоры в строительстве высоковольтных линий, для которого транспортабельность конструкции играет решающую роль.

Таким образом, принимаем к установке железобетонные двухцепные опоры.

## 2.2 Определение удельных нагрузок на провода

Удельные нагрузки, т.е. нагрузки, возникающие в 1 *м* длины линии и 1 *мм2* сечения провода от веса провода, гололеда и давления ветра, рассчитывают исходя из условия:

нагрузка по длине провода в пролете распределяется равномерно;

порывы ветра отсутствуют.

По начальным условиям из справочной литературы [1,2,5] выписываем все необходимые данные (для провода АС 70/11):

скорость напора ветра:  *даН/м2*;

толщина стенки гололеда:  *мм*;

модуль упругости:  *даН/мм2*;

температурный коэффициент линейного удлинения:  *1/С0*;

предельная нагрузка:  *даН/мм2*;

суммарная площадь поперечного сечения:  *мм2*;

диаметр провода:  *мм*;

масса провода:  *кг/км*;

напряжение при наибольшей нагрузке и низшей температуре: ;

напряжение при среднегодовой температуре:  *даН/мм2*.

Рассчитываем нагрузку от собственной массы провода:

 ,

где  *м/с2* - ускорение свободного падения.

Нагрузка от массы гололеда с учетом условия, что гололедные отложения имеют цилиндрическую форму плотностью  *г/см3*:

 .

Нагрузка от собственной массы и массы гололеда:

 .

Нагрузка от давления ветра при отсутствии гололеда:

 ,

где  - угол между направлением ветра и проводами линии;

 - коэффициент, которым учитывается неравномерность скорости

ветра по длине пролета;

 - аэродинамический коэффициент.

Нагрузка от давления ветра при наличии гололеда:



 ,

здесь  - 25% от первоначальной.

Суммарная нагрузка от собственной массы проводов и от давления ветра (при отсутствии с гололеда):

 .

Суммарная нагрузка от собственной массы провода, от гололеда и давления ветра:

 .

## 2.3 Определение критических пролетов

Для каждой марки провода существует предел прочности. У проводов и тросов ВЛ должен быть определенный запас механической прочности. При выборе его величины необходимо учитывать погрешности в заданных температурах и нагрузок, а также изменения ряда допущений. Поэтому должен быть запас прочности, согласно ПУЭ, в виде допустимых напряжений, в проводах в процентах от предела прочности провода  для следующих условий: а) наибольшей внешней нагрузки; б) низшей температуре при отсутствии внешних нагрузок; в) среднегодовой температуры при отсутствии внешних нагрузок.

Ограничения напряжений при наибольшей нагрузке () и низшей () необходимы для проверки провода на статическое растяжение при наиболее тяжелых режимах. Эти ограничения могут оказаться недостаточными при возникающих из-за вибрации проводов динамических нагрузках, которые могут привести к уменьшению прочности провода в местах его закрепления. Поэтому при расчете проводов необходимо вводить также ограничение по среднеэксплуатационному напряжению .

Влияния изменений нагрузки и температуры проявляются в большей или меньшей степени в зависимости от длины пролета. При малых пролетах на напряжение в проводе значительное влияние оказывает температура, при больших пролетах - нагрузка. Граничный пролет, при котором влияние температуры и нагрузки на напряжение в проводе оказывается равноопасным, называется критическим.

При ограничении напряжения в проводе по трем режимам в общем случае существуют три критических пролета.

***Первый критический пролет*** - это пролет такой длины, при котором напряжение в проводе в режиме среднегодовой температуры равно допустимому при среднегодовой температуре , а в режиме низшей температуры - допустимому напряжению при низшей температуре . Если принять, что для определения критических пролетов выполняется условие , то

,

где  - значение, обратное модулю упругости: ;

 - температурный коэффициент линейного удлинения;

, - соответственно температура в режиме среднегодовой и низшей

температур.

 ;

 ;

 ;

 *м*.

***Второй критический пролет*** - это пролет, при котором напряжение в проводе при наибольшей нагрузке равно допустимому напряжению при наибольшей нагрузке , а в режиме низшей температуры - допустимому напряжению при низшей температуре .

,

где  - удельная нагрузка в режиме максимальной нагрузки ();

 - температура в режиме максимальной нагрузки.

 *м*.

***Третий критический пролет*** - это пролет, при котором напряжение при среднегодовой температуре достигает допустимого при среднегодовой температуре , а в режиме максимальной нагрузки равно допустимому при максимальной нагрузке .

.

 *м*.

## 2.4 Систематический расчет проводов и тросов

Цель систематического расчета заключается в построении зависимостей изменения напряжения в проводе от длины пролета  и стрелы провеса от длины пролета .

В ходе предыдущего расчета было получено соотношение: . При таком варианте для точек, соответствующих пролетам , за исходный принимаем режим низших температур 3, а для пролетов  - режим максимальных нагрузок 5.

Напряжение в проводе определяется из уравнения состояния провода:

,

где  - длина пролета;

,, - соответственно напряжение в проводе, удельная нагрузка и температура в исходном (известном) режиме (состоянии) провода;

,, - соответствующие значения для искомого (неизвестного) режима провода.

 ;

 ;

 ;

 .

Стрела провеса для каждого из сочетаний климатических условий определяется по формуле:

.

Расчетный режим № 3:

 ;  .

;

.

Для построения зависимости , принимаем к расчету диапазон длин пролетов от 60 до 400 *м*. Расчет будем производить через 60 *м*, учитывая длины критических пролетов, подходящие по условиям, описанным в начале пункта.  *м*.

Тогда уравнение примет вид:

.

Методом подбора определим неизвестное  для  *м*:

 .

Тогда стрела провеса в данном случае:

 *м*.

Далее расчет проводится аналогичным образом через каждые 60 *м* до 400 *м*.

Расчетный режим № 5:

 ;  .

;

.

 *м*.

;

 ;  *м*.

Далее расчет проводится аналогичным образом через каждые 60 *м* до 400 *м*.

Результаты расчетов режимов 3 и 5 сводим в таблицу:

Таблица 17. Результаты расчетов режимов № 3 и № 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , *м* | 60 | 107 | 180 | 240 | 300 | 360 | 400 |  |
| № 3 |  | 20,93 | 20,81 | 20,53 | 20,23 | 19,80 | 19,34 | 19,02 |
|  | 0,07 | 0,23 | 0,67 | 1,21 | 1,93 | 2,84 | 3,56 |
| № 5 |  | 18, 19 | 18,60 | 19,52 | 20,38 | 21,26 | 22,12 | 22,67 |
|  | 0,22 | 0,68 | 1,84 | 3,13 | 4,69 | 6,49 | 7,82 |

## 2.5 Расчет монтажных стрел провеса

Расчет проводим для пролета  *м*.

Расчетный режим № 5.

Исходные данные для расчета:

 ;

 ;

 ;

 ;

;

 .

Напряжение в проводе:

;

;

.

Расчет проводим для диапазона температур от -30 до +30 , через каждые 10 .

Определяем также стрелу провеса:

.

Определяем натяжение провода по формуле:

.

;

;

 ;

 *м*;

 .

Далее расчет проводится аналогичным образом через каждые 10 .

Полученные результаты сводим в таблицу 18:

Таблица 18. Результаты расчета монтажных стрел провеса

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ,  | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 |
| , *даН/м⋅мм2* | 7,65 | 6,55 | 5,49 | 4,65 | 3,72 | 3,49 | 3,10 |
| , *м* | 0,80 | 0,93 | 1,11 | 1,31 | 1,64 | 1,75 | 1,97 |
| , *даН* | 606,65 | 519,42 | 435,36 | 368,75 | 295,00 | 276,76 | 245,83 |

По полученным данным строятся характеристики , .

## Литература

1. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Проектирование: Учебное пособие для ВТУзов. - 2-е изд., исправленное и доработанное - Мн.: Высш. шк., 1988. - 308 с.
2. Лычев П.В., Федин В.Т., Электрические системы и сети. Решение практических задач. Учебное пособие для ВУЗов. - Мн.: ДизайнПРО, 1997. - 192 с.
3. Блок В.М. Электрические сети и системы: Учебное пособие для электроэнергетических спец. ВУЗов. - М.: Высш. шк., 1986. - 430 с.
4. Будзко И.А., Зуль Н.М. Электроснабжение сельского хозяйства. - М.: Агропромиздат, 1990. - 496 с.
5. Правила устройства электроустановок/Минэнерго СССР. - 6-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 648 с.
6. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей ВУЗов. - 2-е изд., перераб. и доп. / В.М. Блок, Г.К. Обушев, Л.Б. Паперно и др.; Под редакцией В.М. Блок. - М.: Высш. шк., 1990. - 383 с.
7. Проектирование ВЛ-110 кВ для электроснабжения сельского хозяйства. Методическое указание к курсовому проекту. / В.П. Счастный. - Мн.: Ротапринт БАТУ, 1999. - 35 с.