

*Министерство общего и профессионального образования  
Российской Федерации*

*АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ*

Е. Н. Попов

**МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ  
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

*Учебно-методическое пособие*

Благовещенск

1998

*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
Энергетического факультета  
Амурского государственного  
университета*

***Е.Н. Попов***

Механическая часть воздушных линий электропередачи: Учебно-методическое пособие / Амурский гос. ун-т. г. Благовещенск, 1998 г. – 28с.

Пособие включает основные теоретические положения по расчету механической части воздушных линий, расстановке опор по трассе ВЛ, задание по курсовой работе и варианты задания.

Рекомендуется в качестве вспомогательного пособия при курсовом и дипломном проектировании для студентов специальностей 1002, 1004 очной и заочной форм обучения. Может быть использовано на практических занятиях при решении примеров по расчету механической части ВЛ.

Рецензенты: А.Е. Серов, заведующий кафедрой АППиЭ  
АмГУ, проф., канд. техн. наук;  
А.Д. Григоров зам.нач. электротехнической  
службы ОАО "Амурэнерго"

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для оказания помощи студентам при выполнении курсовой работы по курсу "Механическая часть воздушных линий электропередачи" и может быть использовано при дипломном проектировании.

В основу учебно-методического пособия положены типовые расчеты механической части воздушных линий (ВЛ), включающие основные разделы при проектировании ВЛ. Приведены основные формулы, краткие справочные данные, указаны источники, которыми необходимо пользоваться при проектировании.

Наличие данного пособия не освобождает студентов от необходимости использования технической литературы, каталогов, стандартов и т.п. при выполнении курсовой работы.

## 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Сечение провода ВЛ определяется расчетом в предыдущих частях комплексного проекта или определяется заданием.

Определенное расчетом сечение провода необходимо проверить по условиям механической прочности согласно ПУЭ (см.табл. 2.5.4.; 2.5.5.) и по условиям короны (табл. 2.5.6.).

### Исходные данные

Номинальное напряжение сети  $U_{ном}$ , кВ.

Сечение провода (определяется расчетом) или определяется заданием.

Количество цепей (см. предыдущие разделы комплексного проекта).

Максимальная температура воздуха  $t_{max}^{\circ}$ , С.

Минимальная температура воздуха  $t_{min}^{\circ}$ , С.

Среднегодовая температура воздуха  $t_{\text{ср}}^{\circ}$ , С.

Температура гололедообразования  $t_{гол}^{\circ}$ , С.

Район по гололеду.

Район по ветру.

Расчетные климатические условия и мероприятия по повышению механической прочности ВЛ выбираются в соответствии с картами районирования территории страны по скоростным напорам ветра и размерам гололедных образований и грозовой активности.

Максимальный нормативный скоростной напор ветра на высоте до 15 м от поверхности земли определяется по табл.2.5.1. ПУЭ. Нормативная толщина стенки гололеда для высоты 10 м над поверхностью земли определяется по табл. 2.5.3. ПУЭ.

## 2. ВЫБОР ТИПОВ ОПОР

При выборе типов опор необходимо руководствоваться ПУЭ, НТП (нормы технологического проектирования ВЛ) и справочными материалами, которые являются действующими на момент проектирования

При выборе типов опор, а также при определении расчетных нагрузок необходимо исходить из наиболее невыгодных сочетаний климатических условий наблюдаемых не реже:

- 1 раз в 15 лет для ВЛ 500 кВ;
  - 1 раз в 10 лет для ВЛ 330-110-6 кВ;
  - 1 раз в 5 лет для ВЛ 3 кВ и ниже.
- (ПУЭ §2.5.22).

Исходя из расчетного сечения провода принимается тип промежуточных и анкерных опор [4 стр.381-383] с учетом нормативной толщины стенки гололеда.

Для выбранного типа опор принимается

- длина габаритного пролета  $l_{\text{габ}}$ , м;
- длина весового пролета  $l_{\text{вес}}$ , м;
- длина ветрового пролета  $l_{\text{ветр}}$ , м.

## 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТНОГО НАПОРА ВЕТРА НА ПРОВОДА ВЛ

Скоростной напор ветра на провода ВЛ определяется по высоте расположения приведенного центра тяжести всех проводов (ЦТ). Скоростной напор на тросы - по высоте расположения центра тяжести тросов. При расположении центра тяжести на высоте до 15 м скоростной напор

принимается по табл. 2.5.1. ПУЭ. При расположении центра тяжести на высоте более 15 м от поверхности земли скоростной напор определяется путем умножения значения напора указанного в табл. 2.5.1. на поправочный коэффициент, учитывающий возрастание скорости ветра по высоте (табл.2.5.2.) ПУЭ.

Высота расположения приведенного Ц.Т. проводов или тросов  $h_{пр}$  определяется для габаритного пролета по формуле:

$$h_{пр} = h_{ср} - \frac{2}{3} f_{max}, \text{ м} \quad (1)$$

где  $h_{ср}$  - средняя высота крепления проводов к изоляторам или средняя высота крепления тросов на опоре, отсчитываемая от отметки земли в местах установки опор, м;

$f_{MAX}$  - стрела провеса провода или троса условно принимаемая наибольшей (при высшей температуре или гололеде без ветра), м.

Полученные значения скоростных напоров округляются до целого числа. При горизонтальном расположении проводов (тросов) на опоре:

$$h_{ср} = \frac{h_1 + h_2}{2}, \text{ м} \quad (2)$$

где  $h_1, h_2$  - высота крепления проводов или тросов к изоляторам на опорах 1,2 габаритного пролета.

$$f_{max} = h_1 - h_{габ} - \Delta h_{габ}, \text{ м} \quad (3)$$

где  $h_1$  - высота крепления провода (троса) на опоре, м;

$h_{габ}$  - габарит до земли, м.

$$h_1 = h_{тр} - \lambda, \text{ м} \quad (4)$$

$h_{тр}$  - высота крепления траверсы, м;

$\lambda$  - длина гирлянды изоляторов, м;

$\Delta h_{\text{габ}}$  - поправка на неточность подвеса провода, м;

$\Delta h_{\text{габ}}$  - 0,3 - 0,5 м;

0,3 м - при спокойном рельефе и при пролетах до 300 м;

0,5 м - в остальных случаях.

При негоризонтальном расположении проводов высота приведенного центра тяжести проводов принимается для всех проводов одинаковой, равной среднему арифметическому значений высот центров тяжести отдельных проводов, т.е.

$$h_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{\text{при}i}}{n}, \text{ м} \quad (5)$$

$n$  - кол-во проводов (тросов);

$h_{\text{при}i}$  - высота ц.т. для  $i$  провода, м.

#### 4. РАСЧЕТ УДЕЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Удельные нагрузки  $\gamma_i$  кГ/м\*мм<sup>2</sup> на провода и тросы учитывают механические силы от веса проводов и гололедных образований, а также давление ветра на провода без гололеда или с гололедом.

Удельные нагрузки относятся к единице длины и единице поперечного сечения провода или троса и применяются во всех расчетах конструктивной части ВЛ в качестве исходных данных.

Нагрузка от массы провода  $\gamma_1$

$$\gamma_1 = g \frac{G_0}{F_p} \cdot 10^6 \cdot \text{Н/м}^3 \text{ или } 10^{-3} \text{ кГ/м*мм}^2 \quad (6)$$

где  $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ ;

$G_0$  - масса 1 м провода, кГ/м.

$F_p$  - расчетное (действительное) сечение всего провода, которое отличается от номинального. Например:  $F_n=10 \text{ мм}^2$ ;  $F_p=9,89 \text{ мм}^2$ .

Нагрузка от массы гололеда  $\gamma_2$ .

$$\gamma_2 = g \frac{G}{F_p} = 9,81 * 0,00283 \frac{b(d+b)}{F_p} 10^6 \text{ Н/м}^3 \text{ или } 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м} * \text{мм}^2} \quad (7)$$

где  $G$  - масса гололеда (кг) на проводе,  $G = V g_o$ ;

$V$  - объем гололеда на проводе длиной 1 метр,  $\text{см}^3$ .

$$V = \pi b(d+b), \quad \text{см}^3$$

$d$  - диаметр провода, мм.

$b$  - толщина стенки гололеда, мм

$g_o$  -  $0,9 \cdot 10^{-3} \text{ кг/см}^3$  - объемная масса гололеда.

Нагрузка от массы провода и гололеда,  $\gamma_3$

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2, \quad (8)$$

Нагрузка от давления ветра на провод без гололеда,  $\gamma_4$

$$\gamma_4 = \frac{a \cdot C_x \cdot q_{\max} \cdot d}{1000 F_p} 10^6 \text{ Н/м}^3 \text{ или } 10^{-3} \text{ кг/м} * \text{мм}^2 \quad (9)$$

$a$  - коэффициент, учитывающий неравномерность скорости ветра по длине пролета, принимается в зависимости от скоростного напора ветра,  $q_{\max} (\text{Н/м}^2)$

$q_{\max}$  - до 270    400    550    700 и более

$a$  -            1    0,85    0,75    0,70

$$q_{\max} = \frac{V^2}{1,6} \text{ Н/м}^2 \text{ - скоростной напор ветра,}$$

$v$  - скорость ветра, м/сек;



$C_x$  - аэродинамический коэффициент;

$C_x$  - 1,1 для проводов с  $d = 20$  мм и более и при отсутствии гололеда;

$C_x$  - 1,2 для проводов с  $d < 20$  мм, а также для всех проводов покрытых гололедом;

$F_p$  - площадь сечения провода ( $m^2$ ).

Удельная нагрузка от давления ветра на провод с гололедом

$$\gamma_5 = \frac{a \cdot C_x \cdot 0,25 \cdot q_{\max} \cdot (d+2b)}{1000 F_p} 10^6 \text{ Н/м}^3 \text{ или } 10^{-3} \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2, \quad (11)$$

Суммарная ударная нагрузка на провод от его массы и давления ветра на провод

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2}, \quad (12)$$

Суммарная удельная нагрузка на провод от массы провода, массы гололеда и давления ветра

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2}, \quad (13)$$

## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ПРОЛЕТОВ ВЛ И ИСХОДНОГО РАСЧЕТНОГО РЕЖИМА

При расчетах проводов принимаются такие сочетания климатических условий, которые дают наиболее невыгодные по механическим нагрузкам значения напряжений в проводе в одних случаях и максимальные стрелы провиса - в других.

Эти условия принимаются за исходные по которым можно определить состояние провода при любых других условиях. При ограничении напряже-

ния в проводе тремя исходными режимами, должны существовать три критических пролёта соответствующих пограничным условиям этих режимов.

$l_{1кр}$  - пролет для которого напряжение провода в режиме низшей температуры достигает допустимого напряжения  $\sigma_{tmin}$ , а в режиме среднегодовой температуры значения  $\sigma_{\vartheta}$ ;

$l_{2кр}$  - пролет, при котором напряжение провода в режиме наибольшей нагрузки равно допустимому напряжению  $\sigma_{\gamma max}$ , а в режиме низкой температуры -  $\sigma_{tmin}$ ;

$l_{3кр}$  - пролет, при котором напряжение провода в режиме среднегодовой температуры равно допустимому  $\sigma_{\vartheta}$ , а в режиме наибольшей нагрузки равно  $\sigma_{\gamma max}$ .

Критические пролёты рассчитываются по формулам:

$$l_{1кр} = \frac{2\sigma_{\vartheta}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{6[(\sigma_{\vartheta} - \sigma_{Tmin}) \frac{1}{E} + \alpha(t_{\vartheta} - t_{min})]}{1 - (\frac{\sigma_{\vartheta}}{\sigma_{Tmin}})^2}}, \quad (14)$$

$$l_{2кр} = \frac{2\sigma_{\gamma max}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{6[(\sigma_{\gamma max} - \sigma_{Tmin}) \frac{1}{E} + \alpha(t_{\gamma} - t_{min})]}{(\frac{\gamma_{\gamma}}{\gamma_1})^2 - (\frac{\sigma_{\gamma max}}{\sigma_{Tmin}})^2}}, \quad (15)$$

$$l_{3кр} = \frac{2\sigma_{\gamma max}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{6[(\sigma_{\gamma max} - \sigma_{\vartheta}) \frac{1}{E} + \alpha(t_{\gamma} - t_{\vartheta})]}{(\frac{\gamma_{\gamma}}{\gamma_1})^2 - (\frac{\sigma_{\gamma max}}{\sigma_{\vartheta}})^2}}, \quad (16)$$

Значения  $\sigma_{\vartheta}$ ,  $\sigma_{\gamma max}$ ,  $\sigma_{tmin}$  - нормативные допустимые значения для провода принимаются по ПУЭ. табл. 2.5.7.

1 - й случай. Если  $l_{1\text{кр}} < l_{2\text{кр}} < l_{3\text{кр}}$ , то это значит, что физический смысл имеют только два критических пролета  $l_{1\text{кр}}$  и  $l_{3\text{кр}}$ .

Определяющим исходным режимом в уравнении состояния провода в пролете будет:

а) при  $l_{\text{расч}} < l_{1\text{кр}}$  - режим  $t_{\min}$ .

б) при  $l_{\text{расч}} > l_{3\text{кр}}$  - режим максимальной нагрузки.

в) при  $l_{1\text{кр}} < l_{\text{расч}} < l_{3\text{кр}}$  - режим среднеэксплуатационных условий.

Тогда уравнение состояния провода в пролете будет:

$$\text{для а) } \sigma - \frac{\gamma^2 E l^2}{24\sigma^2} = \sigma_{t_{\min}} - \frac{\gamma_1^2 E l^2}{24\sigma_{t_{\min}}^2} - \alpha E(t - t_{\min}), \quad (17)$$

$$\text{для б) } \sigma - \frac{\gamma^2 E l^2}{24\sigma^2} = \sigma_{\gamma_{\max}} - \frac{\gamma_7^2 E l^2}{24\sigma_{\gamma_{\max}}^2} - \alpha E(t - t_{\gamma}), \quad (18)$$

$$\text{для в) } \sigma - \frac{\gamma^2 E l^2}{24\sigma^2} = \sigma_{\gamma} - \frac{\gamma_1^2 E l^2}{24\sigma_{\gamma}^2} - \alpha E(t - t_{\gamma}), \quad (19)$$

2-й случай. Если  $l_{1\text{кр}} > l_{2\text{кр}} > l_{3\text{кр}}$ , то физический смысл имеет только  $l_{2\text{кр}}$  и расчет проводится с ограничением напряжения при двух режимах : режим  $t_{\min}$  и режим наибольших нагрузок.

Если  $l_{\text{расч}} < l_{2\text{кр}}$ , то исходный режим - режим  $t_{\min}$  и расчетное уравнение (17).

Если  $l_{\text{расч}} > l_{2\text{кр}}$ , то исходный режим - режим максимальных нагрузок и расчетное уравнение (18).

3-й случай.  $l_{1к}$  мнимый,  $l_{2кр} < l_{3кр}$ .

То расчетный пролет  $l_{3кр}$ .

Если  $l_p < l_{3кр}$ , исходный режим - режим среднеэксплуатационных условий, расчетное уравнение (19)

Если  $l_p > l_{3кр}$ , то исходный режим - режим максимальных нагрузок и расчетное уравнение (18).

4-й случай.  $l_{3к}$  - мнимый или имеет очень большое значение.

Расчетный пролет  $l_{1кр}$ .

Если  $l_p < l_{1кр}$ , то исходный режим - режим  $t_{min}$  и расчетное уравнение (17).

Если  $l_p > l_{1кр}$ , то исходный режим - режим среднеэксплуатационных условий и расчетное уравнение. (19).

Соотношения определяющие исходные условия для расчета проводов.

Случай	Соотношение пролетов	Исходные напряжения	Расчетный критический пролет
1.	$l_{1к} < l_{2к} < l_{3к}$	$\sigma_{tmin}, \sigma_{\varepsilon}, \sigma_{\gamma max}$	$l_{1к}$ и $l_{3к}$
2.	$l_{1к} > l_{2к} > l_{3к}$	$\sigma_{tmin}, \sigma_{\gamma max}$	$l_{2к}$
3.	$l_{1к}$ - мнимый, $l_{2к} < l_{3к}$	$\sigma_{\varepsilon}, \sigma_{\gamma max}$	$l_{3к}$
4.	$l_{3к}$ - мнимый, или имеет очень большое значение	$\sigma_{tmin}, \sigma_{\varepsilon}$	$l_{1к}$

## 6. СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОВОДА.

В расчетах монометаллических и сталеалюминевых проводов обычно принимают режимы, указанные в табл. № 1.

Таблица №1

Расчёт. режим	Условные сочетания климатических условий	Номера нагрузок ( $\gamma$ )	$\sigma$	f
I.	Провода и тросы покрыты гололедом, $t = -5^{\circ}\text{C}$ , скоростной напор ветра $0,25 q_{\max}$	7		
II.	Провода и тросы покрыты гололедом, $t = -5^{\circ}\text{C}$ , ветра нет ( $q=0$ ).	3		
III.	Скоростной напор ветра $q_{\max}$ , $t = -5^{\circ}\text{C}$ , гололёда нет	6		
IV.	Среднегодовая температура $t_{\text{э}}$ , ветра и гололёда нет	1		
V.	$t = +15^{\circ}\text{C}$ , ветра и гололеда нет	1		
VI.	Низшая температура $t_{\min}$ , ветра и гололёда нет.	1		
VII.	Максимальная температура $t_{\max}$ , ветра и гололеда нет	1		

При первом расчетном режиме в районах с толщиной стенки гололеда 15 мм и более скоростной напор ветра при гололёде должен быть не менее  $14 \text{ даН/м}^2$ .

Для районов со среднегодовой температурой минус  $5^{\circ}\text{C}$  и ниже температуру в режимах I и III следует принимать минус  $10^{\circ}\text{C}$ .

Во всех случаях скоростной напор ветра при гололеде следует принимать не более  $30 \text{ даН/м}^2$ . См. ПУЭ §2.5.34.

## 7. ВЫБОР ТИПОВ ИЗОЛЯТОРОВ И АРМАТУРЫ.

При выборе изоляции ВЛ необходимо выполнять требования ПУЭ §§2.5.58-2.5.62.

Тип и количество изоляторов в поддерживающей гирлянде можно принимать в соответствии с табл. N 2.5.18.

Выбор типа изоляторов поддерживающих гирлянд в нормальном режиме производится по коэффициенту запаса  $n_1$  при наибольшей нагрузке и  $n_2$  при отсутствии ветра и гололеда.

$$n_1 = \frac{P}{p_7 l_{ef} + G_0} \geq 2,7, \quad (20)$$

$$n_2 = \frac{P}{p_1 l_{ef} + G_0} \geq 5, \quad (21)$$

где  $P$  - электромеханическая разрушающая нагрузка изолятора, кг.

$p_1$ ,  $p_7$  - единичные нагрузки от собственного веса провода и от веса провода с гололедом при ветре, кг/м.

$l_{вес}$  - весовой пролет (м).

$G_r$  - вес гирлянды (кг).

При расчетах пользуются формулами:

$$2,7 (p_7 l_{вес} + G_r) \leq P, \quad (22)$$

$$5 (p_1 l_{вес} + G_r) \leq P \quad (23)$$

т.к. точный вес гирлянды до выбора типа изляторов неизвестен, то в формулах (22-23) можно принять:

$G_r = 20$  кг для ВЛ 35 кВ,

$G_r = 40$  кг для ВЛ 110 кВ ,

$G_r = 80$  кг для ВЛ 220 кВ ,

$G_r = 170$  кг для ВЛ 330 кВ.

Если точный вес гирлянды окажется значительно больше принятого в расчете, то производят повторную проверку.

Выбор типа изоляторов натяжных гирлянд производят по формулам:

$$2,7\sqrt{(\sigma_o F)^2 + \left(\frac{P_1 l_{ef.}}{2} + G_o\right)^2} \leq P, \quad (24)$$

$$5\sqrt{(\sigma_o F)^2 + \left(\frac{P_1 l_{ef.}}{2} + G_o\right)^2} \leq P, \quad (25)$$

где  $\sigma_r$ ;  $\sigma_o$  - напряжения в проводе при наибольшей нагрузке и при среднегодовой  $t$ , определённое расчетом (но не допустимые);

$F$  - сечение провода, мм<sup>2</sup>;

$G$  - вес гирлянды в кг.

При обычных пролетах для поддерживающих гирлянд для ВЛ 220 кВ включительно в I - IV районах по гололедности, достаточны изоляторы с разрушающей нагрузкой 6000 кг; для натяжных гирлянд - 11000 кг.

Выбор арматуры производится в соответствии с принятым типом изоляторов. Изоляторы с определенной механической разрушающей нагрузкой имеют присоединительные размеры соответствующие линейной арматуре с такой же гарантированной прочностью (или большей).

Поддерживающие зажимы принимаются глухие.

Натяжные зажимы выбирают в зависимости от марки провода: болтовые для проводов сечением до 300 мм<sup>2</sup> и прессуемые для проводов сечением 300 мм<sup>2</sup> и более.

## 8. РАСЧЕТ ТЯЖЕНИЯ ПРОВОДА ПРИ ОБРЫВЕ ЕГО В СОСЕДНЕМ ПРОЛЕТЕ.

В работе рекомендуется рассмотреть случай обрыва провода во втором пролете от анкерной опоры.

Расчет сводится к нахождению редуцированного тяжения провода и стрелы провеса в соседнем пролете.

При этом решается уравнение (26) графическим путем с построением кривых (1) и (2).

$$\frac{l}{EF}(H_0 - H) + \frac{p_0^2 l^3}{24} \left( \frac{1}{H^2} - \frac{1}{H_0^2} \right) = \frac{\lambda}{\sqrt{1 + \left( \frac{p_0 l + G_r}{2H} \right)^2}}, \quad (26)$$

$H_0$  - начальное тяжение провода, (кг);

$$H_0 = \sigma_3 F. \quad (27)$$

$\sigma_3$  - напряжение при растяжении в низшей точке ,соответствующее условиям расчета при IV режиме. (ПЭУ 2.3.35) кг/мм<sup>2</sup>;

$F$  - фактическое сечение провода (расчетное) ,мм<sup>2</sup>.

Кривая (1) строится по уравнению (28)

$$\Delta l = \frac{l}{EF}(H_0 - H) + \frac{p_0^2 l^3}{24} \left( \frac{1}{H^2} - \frac{1}{H_0^2} \right), \quad (28)$$

$\Delta l$  - перемещение точки подвеса, (м)

Расчеты для построения кривой (1) сводят в таблицу (см. Крюков стр.93).

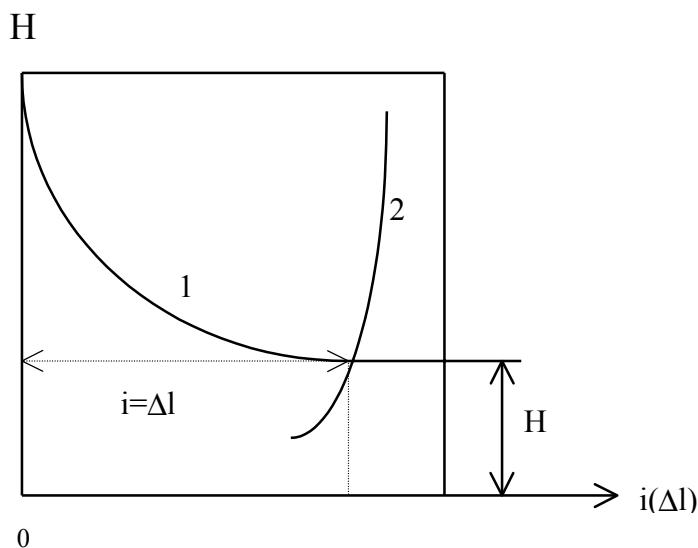
Для вычисления точек кривой (2) решается уравнение (29)

$$i = \frac{\lambda}{\sqrt{1 + \left( \frac{p_0 l + G_r}{2H} \right)^2}}, \quad (29)$$

Результаты сводятся в таблицу.



Пересечение кривых (I) и (II) дает редуцированное тяжение  $H$  и  $\Delta l(i)$  -отклонение точки подвеса.



Стрела провеса после обрыва провода

$$f = \frac{p_0 l^2}{8H}, \text{ м} \quad (30)$$

## 9. РАССТАНОВКА ОПОР ПО ПРОФИЛЮ ТРАССЫ ВЛ.

Продольный профиль трассы ВЛ представляет собой очертания вертикального разреза вдоль трассы. Он составляется на основании топографических изысканий в масштабах:

Горизонтальный 1:5000

Вертикальный 1:500

При переходах через инженерные сооружения

Горизонтальный М 1:2000

Вертикальный М 1:200

При расстановке опор по профилю должны быть учтены два основных условия:

1. Расстояние от проводов до земли и пересекаемых сооружений должны быть не менее требуемых ПУЭ. (табл. № 2)

2. Нагрузка, воспринимаемая опорами, не должна превышать значений, принятых в расчетах опор соответствующих типов.

Следует избегать установку опор в местах , требующих выполнения более сложных фундаментов (болота , обводненные участки и т.п.).

Табл. № 2. Расстояние от проводов до земли (м)

Характеристика местности	При напряжении ВЛ (кВ)				
	до 110	150	220	330	500
Населенная	7	7,5	8	8	8
Ненаселенная	6	6,5	7	7,5	8
Труднодоступная	5	5,5	6	6,5	7
Недоступная	3	3,5	4	4,5	5

При расстановке опор на идеально ровной местности , их можно устанавливать на расстояниях равных габаритному пролету , не производя проверки габаритов над землей. В обычных условиях неровного профиля расстановка опор производится по шаблону.

Шаблон представляет собой три кривые (параболы), соответствующие кривой максимального провисания провода и расположенные друг над другом с определенным сдвигом по вертикали.

Кривая максимального провисания провода строится по формуле.

$$y = \frac{\gamma}{2\sigma} x^2 = \frac{\gamma 10^4}{2\sigma} \left(\frac{x}{100}\right)^2 = K_{III} \left(\frac{x}{100}\right)^2, \quad (31)$$

$\gamma, \sigma$  - принимают из систематического расчета провода для расчетного режима II или VII , где  $f_{max}$  , т.е. режима соответствующего наи-

большему провисанию провода в вертикальной плоскости для

$$l_{\text{пр}} = 0,9 l_{\text{габ}}$$

В учебном проектировании при несложном профиле можно принять

$$l_{\text{пр}} = l_{\text{габ}}$$

$K_{\text{ш}}$ -коэффициент шаблона.

Вычисленная и построенная кривая (1)-кривая провисания провода.

Сдвинув кривую (1) вниз на расстояние равное габариту получим габаритную кривую (2). С учетом неточности профиля кривую (1) сдвигают вниз на расстояние  $h_r = \Gamma + (0,3-0,5)$ , м

0,3 м - при спокойном рельефе и при пролетах до 300м.

0,5 м - в остальных случаях.

Сдвинув кривую (1) вниз на расстояние  $h_o$  равное высоте подвеса провода на опоре получим кривую (3) - земляную кривую.

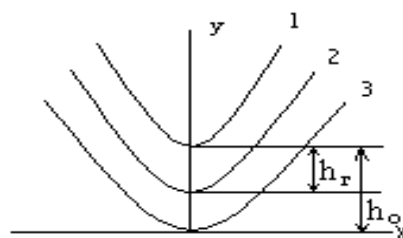


Рис. 1.

Порядок и правила расстановки опор:

1. Устанавливаются концевые опоры.
2. Устанавливаются угловые опоры , совпадающие с углами поворота линии.
3. Устанавливаются анкерные опоры - на переходах , пересечениях и т.д.

4. Если последний пролет окажется малым , его увеличивают за счет сокращения предыдущих пролетов.

5. Длины смежных пролетов промежуточных опор не должны отличаться друг от друга более чем в два раза.

6. Пролеты должны быть кратными 5.

7. Должны быть выдержаны значения ветровых и весовых пролетов , вычисленные по формулам и в соответствии с паспортными данными опор.

8. Опоры не должны попадать на неудобные места (болота , поймы , грунтовые дороги , крутые склоны и т.д.).

## 10. ПРОВЕРКА ВЕТРОВЫХ И ВЕСОВЫХ ПРОЛЕТОВ.

При расстановке опор по профилю необходимо следить , чтобы фактическое значение ветрового пролета не превышало принятого в расчете значения, т.е.

$$\frac{l_1 + l_2}{2} \leq l_{\text{ветр. рас}} \quad (32)$$

Весовой пролет опоры обозначается  $l_{\text{вес}}$  и соответствует значению принятому в расчете опоры для определения весовых нагрузок от проводов и тросов. При установке опор с одинаковой высотой подвеса провода на идеально ровной местности его вес распределяется на обе опоры одинаково и тогда  $l_{\text{вес}} = l_{\text{габ}}$ .

При различной высоте точек подвеса провода на соответствующие опоры передается вес провода на участке от точки подвеса до низшей точки провода в пролете. Длина этого участка , равная полусумме соответствующих эквивалентных пролетов не должна превышать значения принятого в расчете опоры.

т.е. 
$$\frac{l_{\text{э1}} + l_{\text{э2}}}{2} \leq l_{\text{ветр.рас}} , \quad (33)$$

## 11. РАСЧЕТ ГАБАРИТА ПРОВОДА НАД ПЕРЕСЕЧЕНИЕМ.

Основной задачей расчета переходов ВЛ через инженерные сооружения, естественные препятствия и др. является определение высоты над пересекаемым объектом. (Г). Рис.2.

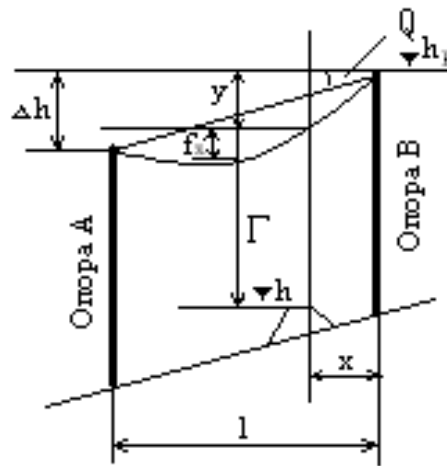


Рис.2.

Вертикальное расстояние от провода до пересекаемого объекта (м), т.е. габарит - Г.

$$Г = h_v - y - h , \text{ м} \quad (34)$$

где  $h_v$  - отметка подвеса провода на опоре.

$h$  - отметка пересекаемого объекта.

$$y = \frac{\gamma \cdot x}{2\sigma} (l - x) + x \cdot \operatorname{tg} Q , \text{ м} \quad (35)$$

Величина  $\gamma$  и  $\sigma$  принимается из систематического расчета провода для режима в котором  $f_{\text{max}}$ .

При расчете пересечений необходимо руководствоваться ПУЭ Э2.5.119-2.5.174.

Если в результате расчета окажется , что габарит над пересекаемых сооружением не удовлетворяет нормам , то применяют следующие меры:

изменяют расстановку опор , применяют повышенные опоры , заменяют ВЛ на кабельные , ВЛ более низких напряжений переустраивают и т.д.

## 12. РАСЧЕТ МОНТАЖНЫХ СТРЕЛ ПРОВЕСА.

При монтаже провод должен быть подвешен с таким тяжением , чтобы напряжение в проводе во всех режимах соответствовало расчетным значениям.

В проводах анкерного участка с разной длиной пролетов устанавливается напряжение соответствующее значению  $l_{пр}$ .

Порядок построения графика для расчета монтажных стрел провеса такой:

1. Определяется  $l_{пр} = \sqrt{\frac{\sum l_i^3}{\sum l_i}}$ , м (36)

2. По уравнению состояния провода для  $l_{пр}$  определяют  $\sigma_{пр}$  для  $t=+40^{\circ}\text{C}$  и  $t=-40^{\circ}\text{C}$  при этом в левой части уравнения принимается  $\gamma_1$ .

3. По формуле.  $f = \frac{\gamma_1 l^2}{8\sigma_{пр+40(-40)}}$ , м определяют  $f$  (стрелу провеса) для каждого фактического пролета ( $l$ ) при  $\sigma_{пр+40}$  и  $\sigma_{пр-40}$  (составляют таблицу).

4. В системе координат  $f_m$  и  $t^{\circ}\text{C}$  полученные две точки  $f_{+40}$  и  $f_{-40}$  соединяют.

Полученная линия-график для определения  $f$  данного пролета при любой  $t$  от  $+40^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

5. Таким образом строят графики для необходимого числа длины пролета.

В зависимости от температуры окружающей среды, при которой производится монтаж провода по этим графикам определяют стрелу провеса провода , которую необходимо установить при монтаже.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В заключении делается краткий анализ результатов выполненной работы. В том числе:

- 1) Количество устанавливаемых опор на трассе ВЛ (анкерных, промежуточных, на оттяжках, угловых и т.д.)
- 2) Количество железобетонных, металлических опор и их типы.
- 3) Делается вывод о принятом варианте расстановки опор по трассе ВЛ и допустима ли другая расстановка опор с целью уменьшения их количества и сокращения стоимости строительства ВЛ.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Энергоатомиздат, 1986. 648с.
2. Электротехнический справочник. Т.3, кн.1. / Под ред. В.Г. Герасимова и др. М.: Энергоатомиздат, 1988. 880с.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. М.: Энергоатомиздат 1989. 592с.
4. Справочник по проектированию линий электропередачи / Под ред. М.А. Реута, С.С. Рокотяна. М.: Энергия, 1980. 296с.
5. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. М.: Энергия, 1979. 392с.
6. Б.А. Боровиков, В.К. Косарев, Г.А. Ходот. Электрические сети энергетических систем. М.: Энергия, 1977. 392с.

## Приложение №1

Задание к курсовой работе.

Введение.

Приводится краткий исторический обзор развития строительства линий электропередачи в России, перечисляются основные достижения отечественной и зарубежной энергетики в области проектирования и сооружения ВЛ. Кратко перечисляются требования, предъявляемые к ВЛ. Правилами устройства электроустановок (ПУЭ)

1. По исходным данным определить максимальный нормативный скоростной напор ветра ( $q_{\max}$ ) и нормативную толщину стенки гололеда ( $b$ ).
2. Выбрать тип опор анкерных и промежуточных и для выбранного типа опор принять
  - длину габаритного пролета  $l_{\text{ГАБ}}$
  - длину весового пролета  $l_{\text{ВЕС}}$
  - длину ветрового пролета  $l_{\text{ВЕТР.}}$
3. Определить скоростной напор ветра на провода ВЛ в соответствии с принятым типом опор и приведенным центром тяжести всех проводов.
4. Рассчитать удельные механические нагрузки на провода ВЛ.
5. Определить величины трех критических пролетов ( $l_{1\text{кр}}$   $l_{2\text{кр}}$   $l_{3\text{кр}}$ ) и исходный расчетный режим.
6. Выполнить систематический расчет провода.
7. Выбрать тип изоляторов, количество изоляторов в поддерживающей и натяжной гирляндах. Выбрать арматуру.
8. Выполнить расчет тяжения провода при обрыве его в соседнем пролете.

9. Выполнить расстановку опор по профилю трассы ВЛ.
10. Выполнить проверку фактических ветровых и весовых пролетов.
11. Выполнить расчет габарита провода над пересекаемым объектом (препятствием).
12. Выполнить расчет монтажных стрел провеса проводов.

### Варианты задания к курсовой работе

№ вар.	U <sub>ном</sub> , кВ	Провод	Кол-во цепей	cos φ	Климатические условия				Район по гололеду	Район по ветру	№ профиля
					t <sub>max</sub> , °C	t <sub>min</sub> , °C	t <sub>э</sub> , °C	t <sub>гол</sub> , °C			
1	35	АС 70/11	1	0,85	+40	-50	-5	-5	II	II	1
2	35	АС 50/8	1	0,85	+40	-40	0	-5	IV	IV	2
3	110	АС 150/34	1	0,95	+45	-35	-5	-5	III	IV	3
4	110	АС 120/19	1	0,90	+35	-25	0	-5	II	II	1
5	110	АС 95/16	1	0,90	+40	-40	+5	-5	I	II	2
6	220	АС 240/39	1	0,92	+45	-40	-10	-5	I	II	3
7	220	АС 300/39	2	0,90	+35	-30	-10	-5	II	II	1
8	220	АС 300/39	2	0,95	+45	-45	0	-5	I	II	2
9	220	АС 240/39	1	0,90	+40	-30	0	-5	II	III	3
10	220	АС 240/39	2	0,95	+35	-25	+5	-5	III	I	1
11	220	АС 300/48	2	0,90	+40	-20	+10	-5	I	II	2
12	110	АС 150/34	1	0,90	+40	-40	-5	-5	III	II	3
13	110	АС 120/19	1	0,95	+45	-35	-5	-5	I	II	1
14	110	АС 95/16	2	0,90	+35	-30	+5	-5	II	I	2
15	110	АС 95/16	1	0,95	+40	-40	-5	-5	III	I	3
16	110	АС 120/19	2	0,95	+40	-40	0	-5	II	III	1
17	35	АС 70/11	1	0,85	+40	-40	-10	-5	II	I	2
18	35	АС 50/8	1	0,9	+40	-40	-10	-5	II	II	3

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Исходные данные и расчетные климатические условия	4
2. Выбор типов опор	5
3. Определение скоростного напора ветра на провода ВЛ	5
4. Расчет удельных механических нагрузок	7
5. Определение критических пролетов ВЛ и исходного расчетного режима	9
6. Систематический расчет провода	12
7. Выбор типов изоляторов и арматуры	14
8. Расчет тяжения провода при обрыве его в соседнем пролете	16
9. Расстановка опор по профилю трассы ВЛ	17
10. Проверка ветровых и весовых пролетов	20
11. Расчет габарита провода над пересечением	21
12. Расчет монтажных стрел провеса	22
Заключение	24
Литература	25
Приложение №1	26