

6пк.13  
3-431

# **Библиотека ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**

**И.С. Звенигородский, Ю.А. Фролов**

## **СТАЛЬНЫЕ ПРОВОДА И ШИНЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ДО 1000 В**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»**

С 1171543V

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

---

---

Выпуск 125

672.13

3-431

И. С. ЗВЕНИГОРОДСКИЙ, Ю. А. ФРОЛОВ

— 5 — 28

СТАЛЬНЫЕ ПРОВОДА И ШИНЫ  
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ  
ДО 1000 в

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

---

МОСКВА

1964

ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Большам Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В.,  
Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. И.,  
Смиринов А. Д., Устинов П. И.

ЭЭ-3-3

УДК 621.315.68

Э 43

*В брошюре приведены сведения о стальных проводах и шинах, применяемых в электрических сетях напряжением до 1000 в. Уделено внимание особенностям электрического и механического расчетов стальных проводов. Рассмотрены способы соединения стальных проводов и шин.*

*Брошюра предназначена для электромонтеров, бригадиров и мастеров, работающих по монтажу воздушных сетей и ошинок распределительных устройств.*

с. 117543



*Звезигородский Иосиф Соломонович и Фролов Юрий Александрович.*

*Стальные провода и шины в электрических сетях до 1000 в.*

М.—Л., издательство „Энергия“, 1964.

56 с. с черт. (Биб-ка электромонтера. Вып. 125)

Тематический план 1964 г. № 191.

Редактор М. М. Каганович

Техн. редактор В. И. Сологубов

Сдано в набор 29/XII 1963 г.

Подписано к печати 2/III 1964 г.

Т-00899 Бумага 82X108/12

2,87 печ. л.

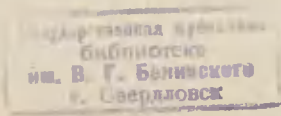
Уч.-изд. л. 3,1

Тираж 17 500 экз.

Цена 11 коп.

Зак. 674

Московская типография № 10 Главполиграфпрома  
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати  
Шлюзовая наб., 10.



## ВВЕДЕНИЕ

Решения XXII съезда КПСС предусматривают дальнейшее широкое развитие электрификации нашей страны. Для передачи электроэнергии к потребителям необходимо строить большое количество распределительных сетей напряжением до 1 000 в. До настоящего времени на строительство этих сетей расходуется большое количество цветного металла (алюминия), тогда как во многих случаях можно заменить дорогой и дефицитный металл сталью.

Задача настоящей брошюры — показать техническую возможность и экономическую целесообразность применения стальных проводов и шин в электрических сетях напряжением до 1 000 в и рассмотреть некоторые особенности монтажа стальных проводов и шин.

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТАЛЬНЫХ ПРОВОДАХ

В современных сетях напряжением до 1 000 в наряду с проводами из цветных металлов используются также стальные провода. Область применения последних включает воздушные линии электропередачи (ВЛ), распределительные устройства различных напряжений, разнообразные линейные коммутационные установки и т. п.

Стальные провода по своим электрическим характеристикам значительно уступают проводам из цветных металлов. Однако в электрических сетях до 1 000 в при сравнительно небольших нагрузках и малой протяженности линий применение стальных проводов в значительном большинстве случаев оказывается технически оправданным и экономически целесообразным. Эксплуатационные показатели электрической сети со стальными проводами при правильном выполнении монтажа и техниче-

ски грамотном обслуживании не уступают показателям сети, выполненной проводами из цветных металлов, а подчас и превосходят их.

Следует отметить, что немаловажной причиной, определившей широкую область применения в сетях до 1 000 в стальных проводах, являются их относительно невысокая стоимость и меньшая дефицитность.

**Марки проводов и их применение.** В сетях до 1 000 в могут применяться как многопроволочные (марок ПС, ПМС), так и однопроволочные (марки ПСО) стальные оцинкованные провода.

Минимальные допустимые диаметры проводов на магистральных участках ВЛ и ответвлениях ко вводам в здания не должны быть меньше 3 мм.

Допускается применение только стандартных проводов (по ГОСТ). Использовать расплетенные провода нельзя.

На пересечениях воздушных линий электропередачи с ответственными инженерными сооружениями должны подвешиваться только многопроволочные провода марок ПС (ПМС)-25 — ПС (ПМС)-95. К таким сооружениям относятся:

- линии связи классов I и II;
- железные дороги общего пользования;
- автомобильные дороги классов I и II;
- электрифицированные железные дороги;
- трамвайные и троллейбусные линии;
- канатные дороги;
- надземные трубопроводы.

На переходах ВЛ через линии связи класса III допускается подвеска однопроволочных проводов марки ПСО.

Кроме приведенных выше рекомендаций, выбор тех или иных марок проводов должен производиться, соотносясь с величинами пролетов между опорами и районами гололедности (см. § 7). Действующие ПУЭ не ограничивают сечение проводов в зависимости от величин пролетов и установленных районов гололедности. Однако, как показал опыт, использование однопроволочных проводов малых сечений в районах с интенсивными гололедно-изморозевыми образованиями (например, в IV и особых районах гололедности) нежелательно, так как оно приводит к резкому сокращению величины про-

лета на линии. В подобных условиях рекомендуется использовать провода марок не ниже ПСО-5 и ПС(ПМС)-25.

Следует иметь в виду, что использование рекомендуемых в § 7 величин пролетов для однопроволочных проводов ПСО-3 и ПСО-4 в условиях III, IV и особых районов гололедности может привести к обрыву проводов. Это же относится и к переходным пролетам ВЛ через инженерные сооружения и естественные препятствия, величина которых более чем на 10—15% превышает рекомендуемые значения расчетных пролетов в условиях всех районов гололедности.

**Общие положения по расчету проводов.** Всякая электрическая сетевая установка надежна в эксплуатации в том случае, если она сооружена на основе рационально выполненных электрических и механических расчетов.

В комплекс электрических расчетов сетевой установки до 1 000 в обычно входят:

- 1) расчет проводов на потерю напряжения;
- 2) проверка проводов по нагреву током нагрузки;
- 3) согласование выбранных параметров линии с элементами защиты.

Ниже рассмотрены только первые два вопроса применительно к сетям, выполненным стальными проводами. Третий вопрос, являющийся общим для линий до 1 000 в с проводами из любого металла, изложен в брошюре П. И. Анастасиева и Ю. А. Фролова «Воздушные линии до 1 000 в» («Библиотека электромонтера», вып. 87).

Вопросы механического расчета проводов изложены в § 6—8.

## **2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЬНЫХ ПРОВОДОВ**

**Омическое сопротивление.** Сопротивление провода постоянному току зависит от металла, сечения провода и его температуры.

Омическое сопротивление стального провода определяется по формуле (1) или (2) в зависимости от того,

в каких единицах выражена длина

$$r_0 = \frac{\rho}{F}, \text{ ом/км}, \quad (1)$$

где  $\rho = 140 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$  — удельное электрическое сопротивление стальных проводов при  $20^\circ \text{C}$ ;

$F$  — сечение провода,  $\text{мм}^2$ .

$$r_0 = \frac{\rho_1}{F}, \text{ ом/м}, \quad (2)$$

где  $\rho_1 = 0,14 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ .

Омическое сопротивление линии, выполненной из стального провода, определяется по формуле

$$r = r_0 l, \text{ ом}, \quad (3)$$

где  $l$  — длина линии,  $\text{км(м)}$ .

Из формул (1) — (3) видно, что омическое сопротивление провода обратно пропорционально его сечению, а сопротивление линии прямо пропорционально ее длине. Пользуясь формулами (1) и (2), а также конструктивными данными стальных проводов, приведенными в табл. 11, можно с достаточной точностью определить омическое сопротивление стальных проводов. Однако в практических расчетах омическое сопротивление постоянному току проводов и линии определяют, пользуясь данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Марка провода	Омическое сопротивление, ом/км
ПСО-3	19,5
ПСО-3,5	14,4
ПСО-4	11,0
ПСО-5	7,0
ПС-25	5,2
ПС-35	3,6
ПС-50	2,7
ПС-70	1,7
ПС-95	1,5

**Пример 1.** Определить омическое сопротивление двухпроводной линии длиной  $l = 1,5 \text{ км}$ , выполненной проводом марки ПС-50.

**Решение.** По табл. 1 определяем  $r_0 = 2,7 \text{ ом/км}$ .

Отсюда  $r = r_0 l = 2,7 \cdot 1,5 = 4,05 \text{ ом}$ .

**Поверхностный эффект.** При переменном токе имеют место как активное, так и индуктивное сопротивления провода и соответственно линии. Для уяснения физического смысла этих величин рассмотрим явление поверхностного эффекта, обусловли-

вающего неравномерное распределение переменного тока по сечению провода.

В пространстве, окружающем проводник, и внутри самого проводника возникает магнитное поле (рис. 1).

При постоянном токе это поле остается неизменным и потому не индуцирует э. д. с. самоиндукции в проводе.

При переменном же токе вокруг и внутри проводника возникает переменное магнитное поле. В то время как любая силовая линия внешнего магнитного поля охватывает весь проводник, силовая магнитная линия внутреннего поля охватывает лишь ту часть проводника, которая находится внутри контура этой линии. Магнитные силовые линии индуцируют в теле проводника ток самоиндукции, имеющий направление, обратное направлению тока, который создал магнитное поле. Величина тока самоиндукции зависит от количества силовых линий, охватывающих отдельные элементы проводника.

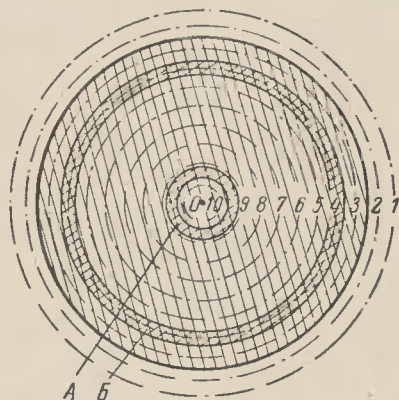


Рис. 1. Сечение проводника (заштриховано) с магнитными силовыми линиями (пунктир — точка).

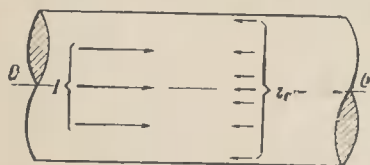


Рис. 2. Схема распределения тока в теле проводника.

На рис. 2 изображен отрезок проводника, по которому пропускают основной ток  $I$ , и показаны направление и расположение тока самоиндукции  $i_c$ . Ток самоиндукции распределяется в теле проводника неравномерно. В самом деле, слой  $A$ , расположенный близко к оси проводника (рис. 1), пересекается почти всеми силовыми линиями (девятью из десяти). Слой  $B$  пересекают всего четыре силовые линии. Поэтому в слое  $B$  ток самоиндук-

ции будет меньше, чем в слое А. Таким образом, создаются условия, при которых основной ток как бы вытесняется к поверхности проводника. Вытеснение тока, называемое поверхностным эффектом, приводит к уменьшению использования сечения проводника и тем самым повышает сопротивление проводника по сравнению с омическим. Поэтому в цепях переменного тока учитывают не омическое, а активное сопротивление, которое всегда больше омического. Поверхностный эффект проявляется в проводниках из любых материалов, но в стальных проводах это явление особенно заметно, так как сталь обладает сильно выраженными магнитными свойствами. Магнитная проницаемость меди равна 1, а магнитная проницаемость стали превышает 100.

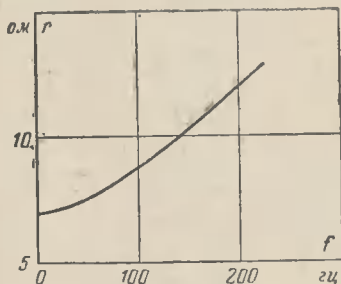


Рис. 3. Зависимость сопротивления провода марки ПСО-5 от частоты.

Чем выше частота переменного тока, тем заметнее влияние поверхностного эффекта. При высокой частоте ток в средних слоях проводника практически отсутствует. На рис. 3 показана зависимость сопротивления провода марки ПСО-5 при токах различной частоты. Из рисунка видно, что при частоте 50 гц сопротивление провода увеличивается почти на 7%, при 100 гц — на 26%, при 200 гц — на 72%.

**Активное сопротивление линий** из стальных проводов значительно превышает сопротивление линий, выполненных проводами из цветных металлов. Величина активного сопротивления стальных проводов непостоянна и зависит от величины передаваемого тока. Основная причина этой зависимости заключается в большом магнитном потоке внутри стального провода, что обусловлено большой магнитной проницаемостью стали. До некоторого предела сопротивление провода увеличивается вместе с увеличением тока. Когда этот предел оказывается достигнутым, сопротивление провода начинает немного уменьшаться, хотя ток продолжает возрастать. Уменьшаясь, сопротивление провода не достигает все же ве-

личины, измеренной при очень малых токах. Для примера на рис. 4 и 5 показана зависимость сопротивления проводов от тока. Из рис. 4 видно, что активное сопротивление провода марки ПСО-5 при токе 2 а приблизительно равно 8 ом. С увеличением тока до 8 а сопротивление провода увеличивается примерно до 15 ом. Дальнейшее увеличение тока при-

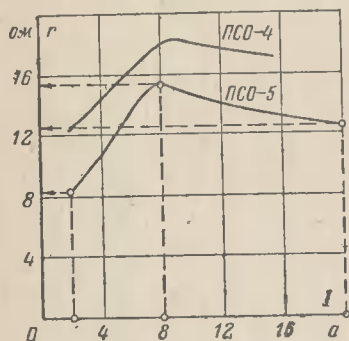


Рис. 4. Зависимость активного сопротивления проводов марок ПСО-4 и ПСО-5 от тока, протекающего по проводникам.

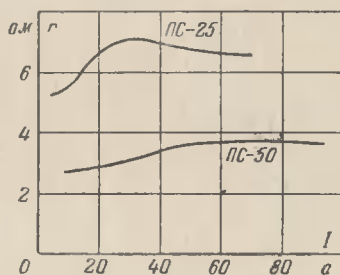


Рис. 5. Зависимость активного сопротивления проводов марок ПС-25 и ПС-50 от тока, протекающего по проводам.

водит к некоторому снижению сопротивления, которое при токе 20 а становится равным 12,5 ом.

Помимо частоты и величины тока, активное сопротивление стальных проводов зависит также от химического состава стали и конструкции провода.

Все это в конечном итоге затрудняет подсчет величины активного сопротивления, и поэтому на практике обычно пользуются таблицами.

В табл. 2 приведены величины активных сопротивлений проводов при частоте 50 гц и токах различной величины.

Активное сопротивление линии определяется по формуле (3).

**Учет температуры.** При расчетах температура провода принимается равной температуре окружающего воздуха. Понижение температуры уменьшает омическое и активное сопротивления провода и, наоборот, повышение температуры повышает сопротивление. Выше указывалось,

Ток, а	Активное сопротивление стальных проводов, ом/км, при $f = 50$ пер/сек							
	Марка провода							
	ПСО-3,5	ПСО-4	ПСО-5	ПС-25, ПМС-25	ПС-35, ПМС-35	ПС-50, ПМС-50	ПС-70, ПМС-70	ПС-95, ПМС-95
1	15,20	11,80	—	5,25	3,66	2,75	1,70	1,55
2	16,10	12,50	8,35	5,27	3,66	2,75	1,70	1,55
3	17,40	13,40	9,5	5,28	3,67	2,75	1,70	1,55
4	18,50	14,30	10,80	5,30	3,69	2,75	1,70	1,55
5	20,10	15,50	12,30	5,32	3,70	2,75	1,70	1,55
7	21,50	17,30	15,00	5,37	3,73	2,75	1,70	1,55
10	21,90	18,10	14,60	5,50	3,80	2,78	1,70	1,55
15	20,20	17,30	13,60	5,97	4,02	2,80	1,70	1,55
20	—	—	12,70	6,70	4,89	2,95	1,74	1,55
25	—	—	—	6,97	4,89	2,95	1,74	1,55
30	—	—	—	7,10	5,21	3,10	1,77	1,56
40	—	—	—	7,02	5,35	3,40	1,83	1,57
50	—	—	—	6,85	5,25	3,61	1,93	1,58
70	—	—	—	6,60	5,00	3,73	2,21	1,61
100	—	—	—	6,32	4,71	3,65	2,33	1,71

что удельное сопротивление стального провода, равное  $0,14 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ , соответствует температуре  $+20^\circ \text{C}$ . При изменении температуры сопротивление стального провода может быть определено по формуле

$$r_t = r_{20} [1 + \alpha(t - 20)], \text{ ом}, \quad (4)$$

где  $r_t$  — сопротивление при искомой температуре  $t$ , ом;

$r_{20}$  — сопротивление при температуре  $20^\circ \text{C}$ , ом;

$\alpha = 0,005$  — температурный коэффициент сопротивления;

$t$  — температура, при которой рассчитывается сопротивление провода.

**Пример 2.** Определить омическое сопротивление стального провода марки ПС-50 длиной 5 км при температуре  $+35^\circ \text{C}$ .

В табл. 1 находим сопротивление 1 км провода  $r_0 = 2,7 \text{ ом}$ . Сопротивление провода длиной  $l = 5 \text{ км}$  при температуре  $20^\circ \text{C}$  равно  $r_{20} = r_0 l = 2,7 \cdot 5 = 13,5 \text{ ом}$ .

Сопротивление провода при искомой температуре  $+35^\circ \text{C}$

$$r_{35} = 13,5 [1 + 0,005(35 - 20)] = 14,5 \text{ ом}.$$

Пересчет активных сопротивлений для температуры, отличной от  $+20^{\circ}\text{C}$ , выполняется аналогично.

**Пример 3.** Определить активное сопротивление стального провода марки ЛСО-4 длиной 1,5 км при токе нагрузки  $I=4$  а и температуре  $t=-10^{\circ}\text{C}$ .

В табл. 2 находим активное сопротивление 1 км провода  $r_0=14,3$  ом/км. Сопротивление провода длиной 1,5 км при  $20^{\circ}\text{C}$  равно  $r_{20}=r_0l=14,3 \cdot 1,5=21,5$  ом.

Сопротивление провода при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ .

$$r_{-10}=21,5[1+0,005(-10-20)]\approx 18,3 \text{ ом.}$$

**Индуктивное сопротивление.** Линии переменного тока обладают индуктивным сопротивлением. Индуктивное сопротивление 1 км линий, выполненной стальными проводами, определяется по формуле

$$x_0 = x'_0 + x''_0, \text{ ом/км.} \quad (5)$$

Первый член формулы  $x'_0$  обусловлен магнитным потоком, расположенным вне провода, и представляет собой внешнее индуктивное сопротивление. Второй член  $x''_0$  обусловлен магнитным потоком внутри провода и представляет собой внутреннее индуктивное сопротивление.

Таблица 3

Марка провода	Внешнее индуктивное сопротивление стальных проводов, ом/км		
	Среднее геометрическое расстояние между проводами, мм		
	400	600	800
ЛСО-3,5	0,341	0,368	—
ЛСО-4	0,332	0,359	—
ЛСО-5	0,318	0,345	—
ЛС-25	0,311	0,336	0,355
ЛС-35	0,290	0,317	0,333
ЛС-50	0,281	0,308	0,329
ЛС-70	0,270	0,295	0,311
ЛС-95	—	—	0,303

Для линий из цветных металлов определяющей величиной индуктивного сопротивления является магнитный поток, расположенный вне провода. Величина индуктивного сопротивления линий, выполненных стальными проводами, обусловленная внешним магнитным потоком, такая же, как и для аналогичных линий из цветного металла. Но величина индуктивного сопротивления, обусловленная внутренним магнитным потоком в стальных проводах, резко возрастает. При практических расчетах линий со стальными проводами индуктивные сопротивления определяются по табл. 3 и 4.

Ток, <i>a</i>	Внутреннее индуктивное сопротивление стальных проводов, <i>ом/км</i>							
	Марка провода							
	ПСО-3,5	ПСО-4	ПСО-5	ПС-25	ПС-35	ПС-50	ПС-70	ПС-95
1	2,27	1,54	1,02	0,54	0,33	0,23	0,16	0,08
2	6,45	4,38	3,58	0,55	0,35	0,24	0,17	0,08
3	9,6	7,9	6,45	0,56	0,36	0,25	0,17	0,08
4	11,5	9,7	8,1	0,59	0,37	0,25	0,18	0,08
5	14,1	11,5	9,7	0,63	0,40	0,26	0,18	0,08
7	16,5	13,2	12,3	0,70	0,45	0,27	0,19	0,08
10	17,1	14,3	12,4	0,93	0,55	0,30	0,21	0,08
15	18,3	13,3	11,4	1,33	0,75	0,35	0,23	0,08
20	—	—	10,5	1,63	1,04	0,42	0,25	0,09
25	—	—	—	1,91	1,32	0,49	0,27	0,09
30	—	—	—	2,01	1,56	0,59	0,30	0,09
40	—	—	—	2,09	1,69	0,80	0,37	0,10
50	—	—	—	2,07	1,72	1,00	0,45	0,11
70	—	—	—	1,90	1,64	1,14	0,65	0,15

Индуктивное сопротивление воздушной линии определяется по формуле

$$x = x_0 l, \text{ ом}, \quad (6)$$

где  $x_0$  — сопротивление, *ом/км*;

$l$  — длина, *км*.

**Пример 4.** Определить индуктивное сопротивление линии длиной 300 м = 0,3 км, выполненной стальными проводами марки ПС-35 при токе 15 а и расстоянии между проводами 400 мм.

**Решение.** Пользуясь формулами (5) и (6) и данными табл. 3 и 4, находим:  $x_0 = x'_0 + x''_0 = 0,29 + 0,75 = 1,04$  *ом/км* и  $x = 1,04 \cdot 0,3 = 0,31$  *ом*.

### 3. КАК ОПРЕДЕЛИТЬ ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЛИНИИ

**Нормируемые величины.** Всякий приемник электрической энергии (лампа, электродвигатель и т. п.) рассчитывается на определенное номинальное напряжение. Отклонение напряжения от номинального ухудшает работу приемника.

Поэтому ПУЭ нормирует допустимые отклонения напряжения в процентах номинального, как указано в табл. 5.

В сетях до 1000 в принимают величину допустимой потери напряжения 5—6%. Напряжение у приемников тока может регулироваться переключением ответвлений трансформаторов. Так, в протяженных сетях или сетях

Таблица 5

Характеристика нагрузки	Допустимое отклонение напряжения, %		
	Повышение	Понижение	
		Нормальный режим	Нормальный режим
Силовая . . . . .	От + 5 до + 10	—5	—10
Осветительная . .	+2,5	От — 2,5 до — 5	—12

с большими нагрузками потеря напряжения, превышающая 5—6%, может быть компенсирована установкой ответвлений трансформатора в положение минус 5%; при этом суммарная потеря напряжения в линии может быть повышена до 10—12%.

**Вспомогательные формулы.** Для дальнейшего освоения техники расчета на потерю напряжения полезно напомнить, что потеря напряжения прямо пропорциональна величине электрической мощности приемников тока. Полная мощность ( $S$ ), ее активная ( $P$ ) и реактивная ( $Q$ ) составляющие в сети переменного тока связаны зависимостями:

$$P = S \cos \varphi; Q = S \sin \varphi; Q = P \operatorname{tg} \varphi; S = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

где  $S$  — полная мощность, *кВА (ва)*;  
 $P$  — активная мощность, *кВт (вт)*;  
 $Q$  — реактивная мощность, *квар (вар)*;  
 $\cos \varphi$  — коэффициент мощности.

Значения коэффициента мощности  $\cos \varphi$ , а также  $\sin \varphi$  и  $\operatorname{tg} \varphi$  приведены в табл. 6.

**Трехфазная линия со смешанной нагрузкой (силовые и осветительные потребители).** На рис. 6 показана расчетная схема. Напряжение в начале линии  $U_1$ , в конце  $U_2$ . Потеря напряжения  $\Delta U = U_1 - U_2$  определяется либо по формуле (7), если нагрузка задана током

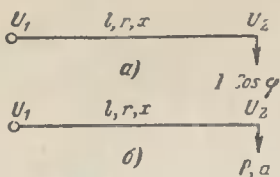


Рис. 6. Трехфазная линия со смешанной нагрузкой.

Таблица 6

$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
1,0	0	0
0,95	0,312	0,327
0,92	0,392	0,425
0,9	0,436	0,483
0,85	0,527	0,618
0,8	0,599	0,748

(рис. 6,а) либо по формуле (8), если нагрузка задана мощностью (рис. 6,б):

$$\Delta U_{\text{в}} = \sqrt{3} I (r \cos \varphi + x \sin \varphi), \text{ в}; \quad (7)$$

$$\Delta U_{\text{в}} = \frac{Pr + Qx}{U_{\text{н}}}, \text{ в}, \quad (8)$$

где  $\Delta U_{\text{в}}$  — потеря напряжения, в;

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} U_{\text{н}}} \text{ — ток в линии, а};$$

$r$  — активное сопротивление линии, ом;

$x$  — реактивное сопротивление линии, ом;

$P$  — активная мощность, квт (вт);

$Q$  — реактивная мощность, квар (вар);

$U_{\text{н}}$  — номинальное напряжение линии, кв (в).

Потеря напряжения в процентах подсчитывается по формуле

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U_{\text{в}} \cdot 100}{U_{\text{н}}}, \text{ \%}. \quad (9)$$

**Пример 5 (рис. 7).** Определить потерю напряжения в трехфазной линии  $U_{\text{н}}=380$  в длиной  $l=1,3$  км, выполненной проводом марки ПС-50; ток в линии  $I=5$  а;  $\cos \varphi=0,9$  ( $\sin \varphi=0,436$ ); расстояние между проводами 600 мм.

**Решение.** Активное ( $r$ ) и индуктивное ( $x$ ) сопротивления 1 км провода находим из табл. 3 и 4 применительно к току  $I=5$  а:  $r_0=2,75$  ом/км и  $x_0=x'_0+x''_0=0,308+0,26=0,568$  ом/км. Отсюда  $r=r_0 l=2,75 \cdot 1,3=3,57$  ом и  $x=x_0 l=0,568 \cdot 1,3=0,74$  ом.

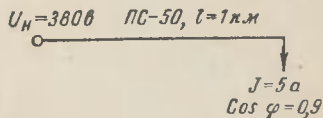


Рис. 7. Расчетная схема к примеру 5.

По формулам (7) и (9) определяем потерю напряжения:

$$\Delta U_{\text{в}} = \sqrt{3} \cdot 5 (3,57 \cdot 0,9 + 0,74 \cdot 0,436) = 30,06 \text{ в};$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{30,06 \cdot 100}{380} = 8,05\%, \text{ что превышает нормируемую величину.}$$

**Пример 6 (рис. 8).** Определить потерю напряжения в трехфазной линии  $U_{\text{н}}=220 \text{ в}$  длиной  $0,15 \text{ км}$ , выполненной проводом марки ПС-25, при передаче мощности  $S=3 \text{ ква}$ ;  $\cos \varphi=0,8$  ( $\sin \varphi=0,6$ ); расстояние между проводами  $400 \text{ мм}$ .

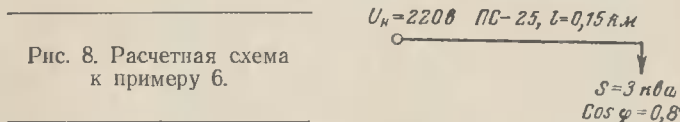


Рис. 8. Расчетная схема к примеру 6.

**Решение.** Определяем активную и реактивную составляющие мощности и ток в линии:

$$P = S \cdot \cos \varphi = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ кВт};$$

$$Q = S \sin \varphi = 3 \cdot 0,6 = 1,8 \text{ квар};$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} U_{\text{н}}} = \frac{3}{\sqrt{3} \cdot 0,22} = 7,9 \text{ а.}$$

Определяем активное и индуктивное сопротивления линии применительно к току  $I=7,9 \text{ а}$ :

$$r_0 = 5,4 \text{ ом/км};$$

$$x_0 = x'_0 + x''_0 = 0,311 + 0,76 = 1,07 \text{ ом/км};$$

$$r = 5,4 \cdot 0,15 = 0,81 \text{ ом};$$

$$x = 1,07 \cdot 0,15 = 0,16 \text{ ом.}$$

$$\text{Отсюда } \Delta U_{\text{в}} = \frac{Pr + Qx}{U_{\text{н}}} = \frac{2,4 \cdot 0,81 + 1,8 \cdot 0,16}{0,22} = 10,2 \text{ в};$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{10,2 \cdot 100}{220} = 4,6\%, \text{ что не выходит за пределы нормируемой величины.}$$

Приведенные формулы для трехфазных линий со смешанной нагрузкой позволяют определить потерю напряжения при известных нагрузках и сечении провода. Решение обратной задачи, т. е. определение сечения проводов при известных нагрузках и заданной величине по-

тери напряжения, более сложно<sup>1</sup>. Для облегчения задачи в табл. 7 приведены значения потери напряжения (в вольтах на 1 км) для стальных проводов при различных нагрузках и коэффициентах мощности.

**Пример 7 (рис. 9).** Выбрать сечение проводов трехфазной линии  $U_n=220$  в длиной  $l=0,6$  км при токе нагрузки  $I=4$  а и  $\cos \varphi=0,9$ . Допускаемая потеря напряжения 6%.

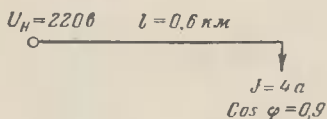


Рис. 9. Расчетная схема к примеру 7.

**Решение.** Находим допустимую потерю напряжения в вольтах:

$$\Delta U = \frac{220 \cdot 6}{100} = 13,2 \text{ в.}$$

Допустимая потеря напряжения на 1 км линии

$$\Delta U_0 = \frac{\Delta U}{l} = \frac{13,2}{0,6} = 22 \text{ в.}$$

По табл. 7 определяем искомую марку провода ПС-50, для которого при токе нагрузки  $I=4$  а и  $\cos \varphi=0,9$  потеря напряжения составляет 19 в, меньшую допустимой величины 22 в.

**Трехфазная линия переменного тока с чисто активной нагрузкой.** В рассматриваемом случае  $Q=0$ ;  $\cos \varphi=1$ ;  $\sin \varphi=0$ . Поэтому формулы (7) и (8) упрощаются и принимают вид:

$$\Delta U_B = \sqrt{3} I r, \text{ в;} \quad (10)$$

$$\Delta U_B = \frac{Pr}{U_n}, \text{ в,} \quad (11)$$

где  $I = \frac{P}{\sqrt{3} U_n}$ , а.

В осветительных сетях нагрузку равномерно распределяют по фазам. В целях уменьшения сечений проводов и потерь напряжения линии, питающие осветительные нагрузки, выполняют по трехфазной системе (три

<sup>1</sup> Примеры решения такой задачи приведены в брошюре П. И. Анастасиева и Ю. А. Фролова „Воздушные линии до 1 000 в“ („Библиотека электромонтера“, вып. 87).

с 1171543.

Таблица 7

Потери напряжения в трехфазной линии, выполненной стальными проводами, в/км

Марка провода	ПСО-4			ПСО-5			ПС-25			ПС-35			ПС-50			ПС-70			ПС-95		
	cosφ			cosφ			cosφ			cosφ			cosφ			cosφ			cosφ		
Ток, а	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8
1	20	20	18	—	—	—	9	9	8	6	6	6	5	5	4	3	3	3	3	3	3
2	43	46	45	29	31	31	18	18	17	13	13	12	10	9	9	6	6	6	5	6	6
3	70	81	81	49	60	60	27	27	25	19	19	17	14	14	13	9	9	9	8	9	9
4	99	120	121	75	93	95	36	36	33	26	25	23	19	19	18	12	12	12	11	11	11
5	134	165	168	106	133	137	46	45	42	32	32	30	24	24	22	15	15	15	13	14	13
7	210	261	266	182	231	236	65	64	60	45	45	42	33	33	34	20	22	21	19	20	19
10	314	394	403	255	323	339	95	95	89	66	66	62	48	48	45	30	31	30	27	28	27
15	449	562	572	354	452	466	155	159	150	104	107	101	73	73	69	44	47	46	40	42	40
20	—	—	—	440	560	576	232	239	225	152	158	150	99	101	95	60	63	61	54	56	54
25	—	—	—	—	—	—	301	313	300	211	222	213	128	131	124	75	80	78	67	70	67
30	—	—	—	—	—	—	369	385	369	270	287	275	161	166	158	92	99	95	80	84	80
40	—	—	—	—	—	—	486	512	492	370	395	381	235	247	236	127	137	133	109	114	108
50	—	—	—	—	—	—	592	612	581	454	489	472	312	332	320	167	181	177	136	142	135
70	—	—	—	—	—	—	797	840	806	605	652	630	452	487	472	268	294	290	195	205	196

фазы и нуль). В этом случае расчет производится по формулам (10) и (11).

**Двухфазная линия переменного тока с чисто активной нагрузкой.** При небольших мощности и протяженности линий для сокращения количества проводов применяют либо двухфазную (две фазы и нуль), либо однофазную (фаза и нуль) систему.

Расчетные формулы для двухфазной нагрузки:

$$\Delta U_{\text{в}} = 1,5 \sqrt{3} I r, \text{ в}; \quad (12)$$

$$\Delta U_{\text{в}} = \frac{2,25 P r}{U_{\text{н}}}, \text{ в}, \quad (13)$$

где  $I = \frac{\sqrt{3} P}{2 U_{\text{н}}}$ , а.

**Однофазная линия переменного тока с чисто активной нагрузкой.** Потеря напряжения определяется по формулам:

$$\Delta U_{\text{в}} = 2 \sqrt{3} I r, \text{ в}; \quad (14)$$

$$\Delta U_{\text{в}} = \frac{6 P r}{U_{\text{н}}}, \text{ в}, \quad (15)$$

где  $I = \frac{\sqrt{3} P}{U_{\text{н}}}$ , а.

Приведенные формулы для линий с чисто активной нагрузкой позволяют определять: 1) потери напряжения при известных нагрузках сети и сечении провода; 2) сечение провода при известных нагрузках сети и величине допустимой потери напряжения.

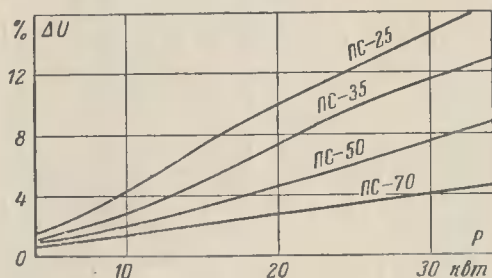


Рис. 10. Кривые для определения потери напряжения в процентах на 100 м трехфазной осветительной линии с нулевым проводом при  $U_{\text{н}}=380$  в.

На рис. 10 приведены кривые, позволяющие без вычислений определять потери напряжения (в процентах на 100 м линии) в трехфазной осветительной сети при  $U_H=380$  в.

**Линия постоянного тока.** В двухпроводных сетях постоянного тока формулы для определения падения напряжения<sup>1</sup> имеют вид

$$\Delta U_B = 2Ir, \text{ в}; \quad (16)$$

$$\Delta U_B = \frac{2Pr}{U_H}, \text{ в}, \quad (17)$$

где  $I = \frac{P}{U_H}$ , а.

**Пример 8 (рис. 11).** Определить падение напряжения в цепи постоянного тока  $U_H=220$  в длиной  $l=0,4$  км, выполненной проводом марки ПС-25, при токе нагрузки  $I=3$  а.

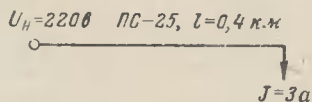


Рис. 11. Расчетная схема к примеру 8.

**Решение.** Омическое сопротивление 1 км провода находим из табл. 1:  $r_0=5,2$  ом. Отсюда  $r=r_0l=5,2 \cdot 0,4=2,08$  ом.

По формулам (10) и (9) определяем:

$$\Delta U_B = 2 \cdot 3 \cdot 2,08 \cong 12,5 \text{ в};$$

$$\Delta U\% = \frac{12,5 \cdot 100}{220} = 5,7\%, \text{ что ниже нормируемой величины.}$$

**Пример 9 (рис. 12).** Определить сечение провода в цепи постоянного тока  $U_H=440$  в, длиной  $l=0,8$  км при токе  $I=4$  а. Допустимое падение напряжения  $\Delta U=5\%$ .

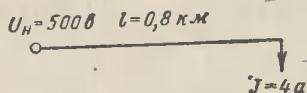


Рис. 12. Расчетная схема к примеру 9.

<sup>1</sup> В линиях переменного тока различают падение и потерю напряжения. В линиях постоянного тока имеет место только падение напряжения.

Решение. Находим допустимое падение напряжения в вольтах:

$$\Delta U_{\text{в}} = \frac{440 \cdot 5}{100} = 22 \text{ в} \text{ и определяем по формуле (16)}$$

$$r = \frac{\Delta U_{\text{в}}}{2I} = \frac{22}{2 \cdot 4} = 2,8 \text{ ом, откуда по формуле (3) находим:}$$

$$r_0 = \frac{r}{l} = \frac{2,8}{0,8} = 3,5 \text{ ом.}$$

Из табл. 1 следует, что величине  $r_0 = 3,5 \text{ ом}$  соответствует провод марки ПС-35.

Для практических расчетов удобно пользоваться табл. 8, в которой приведены величины падения напряжения в сети постоянного тока (в/км).

Таблица 8

Падение напряжения в линии постоянного тока, выполненной стальными проводами, в/км									
Ток, а	Марка провода								
	ПСО-3	ПСО-3,5	ПСО-4	ПСО-5	ПС-25	ПС-35	ПС-50	ПС-70	ПС-95
1	39	29	22	14	10	7	5	4	3
3	117	87	66	42	31	22	16	10	9
5	190	143	101	71	52	38	27	17	15
7	—	200	154	99	73	53	38	24	21
10	—	—	219	141	104	76	54	34	30
15	—	—	—	212	156	114	81	51	45
20	—	—	—	—	208	152	108	68	60
30	—	—	—	—	—	228	162	102	90
40	—	—	—	—	—	—	220	136	120
50	—	—	—	—	—	—	—	170	150

#### 4. КАК ОПРЕДЕЛИТЬ ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ЛИНИИ

Передача электроэнергии по проводам сопровождается потерями активной мощности и энергии.

Потери активной мощности в трехфазной линии, имеющей активное сопротивление  $r$ , при токе  $I$  определяются формулой

$$\Delta p = 3I^2 r \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.} \quad (18)$$

**Пример 10 (рис. 13).** Определить потери мощности в трехфазной сети  $U_n = 380$  в длиной  $l = 0,2$  км, выполненной проводом марки ПС-35, при токе нагрузки  $I = 10$  а.

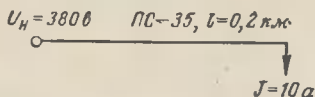


Рис. 13. Расчетная схема к примеру 10.

Решение. Подсчитаем активное сопротивление, пользуясь данными табл. 2:

$$r_0 = 3,8 \text{ ом/км}; r = r_0 l = 3,8 \cdot 0,2 = 0,76 \text{ ом.}$$

$$\text{Отсюда } \Delta p = 3I^2 r \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^2 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3} = 0,23 \text{ кВт.}$$

Передаваемая по линии мощность равна

$$p = \sqrt{3} I U_n = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,38 = 6,6 \text{ кВт.}$$

Потеря мощности в рассматриваемом случае составляет

$$\Delta p\% = \frac{0,23 \cdot 100}{6,6} = 3,5\% \text{ передаваемой мощности.}$$

Для сокращения времени подсчета потери мощности можно пользоваться кривыми рис. 14 и 15.

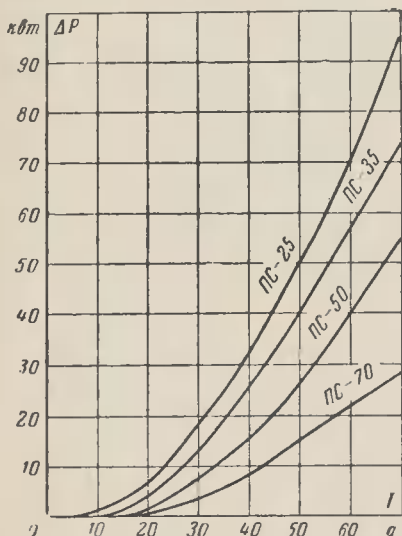


Рис. 14. Кривые для определения потери мощности в 1 км трехфазной линии, выполненной стальными многопроволочными проводами.

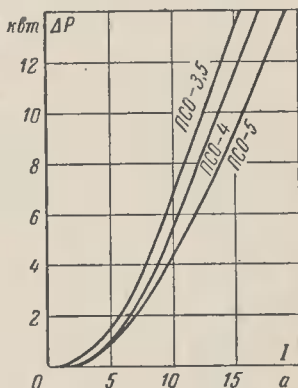


Рис. 15. Кривые для определения потери мощности в 1 км трехфазной линии, выполненной стальными однопроволочными проводами.

## 5. КАК ПРОВЕРИТЬ ЛИНИЮ ПО НАГРЕВУ ТОКОМ НАГРУЗКИ

Электрический ток нагревает провода. С увеличением сечения провода увеличивается допустимая токовая нагрузка на него, хотя прямая пропорциональность между сечением и током отсутствует. Допустимые длительные токовые нагрузки на стальные провода приведены в табл. 9.

Таблица 9

Марка провода	ПСО-3	ПСО-3,5	ПСО-4	ПСО-5	ПС-25	ПС-35	ПС-50	ПС-70	ПС-95
Допустимые длительные токовые нагрузки, а . .	23	26	30	35	60	75	90	125	140

Нагрузки приняты из расчета допустимой температуры нагрева  $+70^{\circ}\text{C}$  при температуре окружающего воздуха  $+25^{\circ}\text{C}$ . Величина  $70^{\circ}\text{C}$  является предельной, при которой гарантируется надежная работа как самого провода, так и монтируемых на нем зажимов.

Расчетная температура воздуха принимается равной среднемесячной в 13 ч наиболее жаркого месяца года. При величине расчетной температуры, отличающейся от  $25^{\circ}\text{C}$ , значения нагрузок надо умножать на поправочные коэффициенты, приведенные в табл. 10.

Таблица 10

Температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
Поправочный коэффициент	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67

**Пример 11.** Определить допустимую нагрузку на провод марки ПС-35 при расчетной температуре  $+35^{\circ}\text{C}$ .

Решение. Пользуясь табл. 9 и 10, определяем допустимую нагрузку:

$$I_{35} = I_{25} k = 75 \cdot 0,88 = 66 \text{ а,}$$

где  $I_{25} = 75 \text{ а}$  — допустимая нагрузка при  $t = +25^{\circ}\text{C}$  (см. табл. 9);  
 $k = 0,88$  — поправочный коэффициент (см. табл. 10).

## 6. МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ПРОВОДОВ

**Конструктивные данные проводов.** Стальные провода, применяемые в сетях до 1 000 в, могут быть однопроволочными и многопроволочными. Те и другие изготавливаются в соответствии с ГОСТ 8053-56 (однопроволочные провода) и 5800-51 (многопроволочные провода). Для защиты проводов от коррозии их покрывают слоем цинка в заводских условиях.

Однопроволочные провода имеют марку ПСО (провод стальной однопроволочный) и цифру, указывающую диаметр провода. Минимальное сечение<sup>1</sup> однопроволочных проводов составляет 7,1 мм<sup>2</sup> (провод ПСО-3), максимальное — 19,6 мм<sup>2</sup> (провод ПСО-5).

Многопроволочные провода свиваются из нескольких проволок и имеют марку ПС или ПМС и число, указывающее сечение провода. Марки ПС и ПМС зависят от величины присадки меди в стали (до 0,2% для проводов ПС и до 0,4% для проводов ПМС). Минимальное сечение многопроволочных проводов 24,6 мм<sup>2</sup> (провода ПС-25 и ПМС-25), максимальное — 94,0 мм<sup>2</sup> (провода ПС-95 и ПМС-95).

В многопроволочных проводах нет точного соответствия между фактическим (например, 24,6 мм<sup>2</sup>) и номинальным (25 мм<sup>2</sup>) сечениями проводов. В некоторых случаях эта разница достигает сравнительно больших значений. В результате разность максимальных тяжений, вычисленных по фактическому и номинальному сечениям, иногда бывает настолько значительной, что ею не следует пренебрегать.

**Пример 12.** Для провода марки ПС-70 при максимальном напряжении в материале провода 12 кг/мм<sup>2</sup> фактическое усилие от тяжения составит

$$T = 12 \cdot 78,9 = 946,8 \text{ кг},$$

а усилие, вычисленное по номинальному сечению провода,

$$T' = 12 \cdot 70 = 840 \text{ кг}.$$

Таким образом, неучтенное усилие от тяжения провода 946,8—840=106,8 кг, и им не следует пренебрегать.

---

<sup>1</sup> В обозначении марки провода указан диаметр. Чтобы по диаметру определить сечение  $F$ , нужно воспользоваться формулой  $F = \frac{\pi d^2}{4} = 0,785d^2$ , мм<sup>2</sup>. Например, сечение провода ПСО-3 равно  $0,785 \cdot 3^2 = 7,065$ , округленно—7,1 мм<sup>2</sup>.

При расчетах на механическую прочность элементов сети необходимо всегда пользоваться только фактическими сечениями проводов, которые указаны в табл. 11.

Таблица 11

Марка провода	Основные конструктивные данные стальных проводов				
	Диаметр провода, мм	Фактическое сечение провода, мм <sup>2</sup>	Число проволок и их диаметр, мм	Вес 1 пог. м провода, кг/м	Строительная длина не менее, м
ПСО-3	3,0	7,1	1×3	0,056	650
ПСО-3,5	3,5	9,6	1×3,5	0,075	600
ПСО-4	4,0	12,6	1×4,0	0,099	500
ПСО-5	5,0	19,6	1×5,0	0,154	350
ПС-25 ПМС-25	6,8	24,6	5×2,5	0,194	1 500
ПС-35 ПМС-35	7,8	37,2	7×2,6	0,296	1 500
ПС-50 ПМС-50	9,2	49,8	12×2,3	0,396	1 500
ПС-70 ПМС-70	11,5	78,9	19×2,3	0,632	1 500
ПС-95 ПМС-95	12,6	94,0	37×1,8	0,755	1 500

Строительная длина — наименьшая длина провода, выпускаемого заводами-изготовителями.

**Механическая прочность** провода характеризуется пределом прочности или временным сопротивлением металла (из которого изготовлен провод) на разрыв ( $\sigma_{вр}$ ). Временным сопротивлением  $\sigma_{вр}$  называют величину напряжения (кг/мм<sup>2</sup>) материала, которое обуславливает разрушение его при растяжении.

Стальные провода по сравнению с проводами из цветных металлов обладают большей механической прочностью. Так, например, временное сопротивление на раз-

рыв провода марки ПС (ПМС) более чем в 4 раза превышает временное сопротивление алюминиевых проводов и в 2,5 раза сталеалюминиевых проводов эквивалентных сечений.

Для обеспечения необходимой надежности в эксплуатации ПУЭ устанавливают запасы механической прочности, определяемые номинальными коэффициентами запаса прочности  $n$ , которые применительно к сетям до 1 000 в должны быть не менее 2,0 для многопроволочных проводов и не менее 2,5 для однопроволочных.

В пролетах пересечения ВЛ с инженерными сооружениями коэффициент запаса прочности во всех случаях не должен быть менее 2,5. К таким сооружениям относятся: линии связи всех классов, трамвайные и троллейбусные линии, электрифицированные железные дороги.

Приведенные коэффициенты запаса ( $n=2,0$  и  $n=2,5$ ) определяют нормальное и ослабленное тяжение проводов.

Напряжение (механическое) в проводе, полученное как частное от деления величины временного сопротивления на номинальный коэффициент запаса прочности, называется максимально допустимым напряжением провода  $\sigma_{\text{макс}}$ :

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{\sigma_{\text{вр}}}{n}, \text{ кг/мм}^2. \quad (19)$$

**Пример 13.** Определить максимально допустимое напряжение в многопроволочном проводе марки ПС-35 в пролете пересечения с троллейбусной линией.

**Решение.** Временное сопротивление провода  $\sigma_{\text{вр}}=65 \text{ кг/мм}^2$ , коэффициент запаса  $n=2,5$  (не менее). Максимально допустимое напряжение

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{\sigma_{\text{вр}}}{n} = \frac{65}{2,5} = 26 \text{ кг/мм}^2.$$

Практически на ВЛ до 1 000 в применяются тяжения проводов меньше нормированных.

Объясняется это следующим. Во-первых, величины тяжения согласовываются с механической прочностью изоляторов и арматуры и не должны превышать допустимых значений. Во-вторых, применение в сетях до 1 000 в значительных по величине стрел провеса проводов при сравнительно небольших расчетных пролетах

(порядка 30—40 м) приводит к увеличению коэффициента запаса и, следовательно, к уменьшению напряжения в материале провода. Обычно максимальное напряжение в стальных проводах при величинах наибольшей стрелы провеса (1—1,5 м) не превышает 20—30% максимально допустимого напряжения  $\sigma_{\text{макс}}$ .

## 7. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАНИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ПРОВОДОВ

В процессе эксплуатации нередко возникает необходимость в производстве работ, связанных с монтажом проводов на существующих линиях электропередачи (например, при ремонте или реконструкции ВЛ, устройстве дополнительных вводов в здания, разного рода ответвлений и т. п.). Поэтому эксплуатационный персонал должен знать основу таких элементарных механических расчетов.

**Цели расчета.** Основная цель механического расчета — обеспечить достаточную механическую прочность линии, сочетая ее с экономичностью сооружения.

Механическими расчетами определяются расчетные напряжения в проводе при разнообразных сочетаниях климатических условий, стрелы провеса провода, расстояния от проводов ВЛ до земли и инженерных сооружений и т. п. Данные расчета используются также при составлении монтажных таблиц стрел провеса проводов, необходимых при монтаже ВЛ.

Ниже приводятся лишь общие положения и сведения, а также основные формулы, которые могут быть использованы при производстве элементарных расчетов в объеме, необходимом эксплуатационному персоналу.

**Исходные данные.** Для выполнения расчета необходимо располагать рядом исходных данных, основными из которых являются следующие:

1. Схема линии с указанием на ней мест подключения потребителей.

2. Результаты электрического расчета.

3. Расчетные климатические условия в районе расположения линии.

4. Конструктивные данные и механические характеристики проводов.

5. Нормируемые величины (запас механической прочности проводов, а также изоляторов и арматуры, минимально допустимые расстояния, конструкции применяемых проводов и т. п.).

#### 6. Расчетные формулы.

Кроме того, в ряде случаев могут понадобиться и другие исходные данные, например генеральный план застройки, сведения о пересекаемых инженерных сооружениях и т. п.

**Последовательность расчета.** Практикой установлена следующая очередность выполнения механических расчетов:

1. Выявляются исходные данные.

2. Намечается расчетный пролет на линии (см. ниже). В тех случаях, когда используется пролет существующей линии, его величина определяется измерением.

3. Устанавливается величина максимальной стрелы провеса.

4. Определяются механические нагрузки на провод.

5. Вычисляются величины расчетных напряжений в проводе.

6. Определяются монтажные стрелы провеса проводов.

Результаты расчета оформляются в виде таблиц, графиков и текстовых пояснений.

**Расчетные климатические условия.** Чтобы правильно выполнить механический расчет проводов, необходимо располагать исчерпывающими данными о климатологии района расположения ВЛ и особенно данными о гололеде, ветрах и температуре воздуха. При расчете принимаются наиболее невыгодные с точки зрения работы проводов сочетания климатических условий, наблюдаемые 1 раз в 5 лет.

Расчет производится, исходя из установленного района гололедности: I район характеризуется толщиной стенки гололеда на проводе 5 мм, II район — 10 мм, III район — 15 мм, IV район — 20 мм. Районы, где толщина стенки гололеда превышает 20 мм, относятся к особым районам гололедности.

Кроме данных о гололеде, используются также следующие нормируемые величины, характеризующие климатические условия:

Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/сек:
Вышая . . . . . +40	При высшей и низшей температуре . . . . . 0
Низшая . . . . . —40	Максимальная без гололеда, а также при гололеде в III, IV и особых районах гололедности . . . . . 15
При гололеде и при проверке приближения проводов к зданиям . . . . . —5	При гололеде в I, II районах гололедности . . . . . 10

**Расчетные пролеты.** Расчетный пролет между опорами ВЛ ( $l_p$ ) выбирается, в основном исходя из принятых расчетных климатических условий, нормируемых расстояний от проводов ВЛ до земли и сооружений ( $C$ ), полезной высоты опор ( $H$ ) (высота подвески нижнего провода) и величины максимальной стрелы провеса  $f_{\text{макс}}$ . Величину

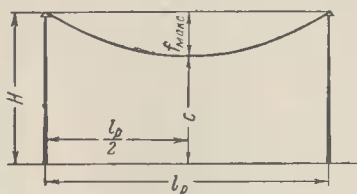


Рис. 16. Схема пролета линии.

пролета выбирают также, сообразуясь с марками монтируемых проводов и механической прочностью опор.

Схема пролета ВЛ приведена на рис. 16.

В воздушных сетях до 1 000 в используются, как правило, следующие величины расчетных пролетов (см. ниже): I—II районы гололедности — 35—45 м; III, IV и особые районы гололедности — 25—30 м. Большие значения расчетных пролетов принимают для районов с меньшей интенсивностью гололедообразования. Так, например, для I и III районов гололедности пролеты соответственно назначают 40—45 и 30—35 м, а для II и IV районов — 35 и 25—30 м. Наибольшая величина пролета в III, IV и особых районах гололедности допускается только в тех случаях, если на ВЛ не подвешиваются провода малых сечений (ПСО-3, ПСО-3,5). В условиях I района гололедности, когда это позволяют местные условия (например, в ненаселенной местности), может быть применен пролет до 50—55 м. Однако в этом случае на ВЛ не

рекомендуется подвешивать тяжелые провода сечением больше 50 мм<sup>2</sup>.

**Механические нагрузки.** Как уже отмечалось, механический расчет производится с учетом воздействия на провода дополнительных внешних нагрузок от веса гололеда и давления ветра. При этом во всех случаях учитываются собственный вес провода и температура окружающего воздуха.

Наиболее удобной формой выражения нагрузок для расчета проводов являются так называемые удельные нагрузки ( $\gamma_n$  кг), отнесенные к 1 пог. м длины провода и 1 мм<sup>2</sup> его поперечного сечения (кг/м·мм<sup>2</sup>). В практике расчетов используются, как правило, следующие характерные нагрузки:

удельная нагрузка от собственного веса провода ( $\gamma_1$ );

удельная нагрузка от веса гололеда ( $\gamma_2$ );

удельная нагрузка от собственного веса провода и образовавшегося на нем гололеда ( $\gamma_3$ );

удельная нагрузка от давления ветра на провод при отсутствии гололеда ( $\gamma_4$ );

удельная нагрузка от давления ветра на провод, покрытый гололедом ( $\gamma_5$ );

удельная нагрузка от собственного веса провода и давления на него ветра при отсутствии гололеда ( $\gamma_6$ );

удельная нагрузка от собственного веса провода, веса гололеда и давления ветра ( $\gamma_7$ ).

Однако, как показано ниже, при производстве расчетов в условиях эксплуатации используются лишь нагрузки  $\gamma_1$  и  $\gamma_7$ . Последняя для всех стальных проводов марок ПСО и ПС(ПМС) является максимальной нагрузкой в условиях всех районов гололедности.

Величины  $\gamma_1$  и  $\gamma_7$  определяются по формулам:

$$\gamma_1 = \frac{G}{F}, \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2; \quad (20)$$

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3 + \gamma_5}, \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2. \quad (21)$$

Как видно из формулы (21), для определения наибольшей нагрузки  $\gamma_7$  необходимо сначала найти величину

ны нагрузок  $\gamma_3$  и  $\gamma_5$ , которые вычисляются по формулам:

$$\gamma_3 = \gamma_1 + 0,00283 \frac{b(d+b)}{F}, \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2; \quad (22)$$

$$\gamma_5 = \frac{0,075v^2(d+2b)}{1000F}, \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2. \quad (23)$$

В формулах приняты следующие обозначения:

$G$  — вес 1 пог. м провода, кг (см. табл. 11);

$F$  — площадь поперечного сечения провода, мм<sup>2</sup> (табл. 11);

$b$  — толщина стенки гололеда, мм;

$d$  — диаметр провода, мм (табл. 11);

$v$  — расчетная скорость ветра (для I и II районов гололедности — 10 м/сек, для III, IV и особых районов гололедности — 15 м/сек).

**Пример 14.** Вычислить удельные нагрузки на провод марки ПС-35 для условий особого района гололедности. Толщина стенки гололеда  $b=25$  мм; удельный вес льда  $\gamma=0,9$ ; скорость ветра при гололеде  $v=15$  м/сек.

**Решение.** Из табл. 11 находим вес 1 пог. м провода, площадь его поперечного сечения и диаметр:

$$G=0,296 \text{ кг/м}; F=37,2 \text{ мм}^2; d=7,8 \text{ мм}.$$

Удельную нагрузку от собственного веса провода определяем по формуле (20):

$$\gamma_1 = \frac{0,296}{37,2} = 0,00795 \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Величины  $\gamma_3$  и  $\gamma_5$  находим по формулам (22) и (23):

$$\gamma_3 = 0,00795 + 0,00283 \frac{25(7,8+25)}{37,2} = 0,07032 \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2;$$

$$\gamma_5 = \frac{0,075 \cdot 15^2 (7,8+2 \cdot 25)}{1000 \cdot 37,2} = 0,02623 \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Пользуясь формулой (21), определяем величину наибольшей нагрузки от веса провода с гололедом и давления на него ветра:

$$\gamma_7 = \sqrt{0,07032^2 + 0,02623^2} = 0,07365 \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Для удобства выполнения расчетов в табл. 12 приводятся значения  $\gamma_1$  и  $\gamma_7$  для стальных проводов в I—IV районах гололедности.

Марка провода	Район гололедности	Скорость ветра, м/сек		Удельные нагрузки, кг/м·мм <sup>2</sup>			
		максимальная	при гололеде	$\gamma_1$	$\gamma_2$		
ПСО-5	I	15	10	0,00786	0,01613		
	II		15		0,00786	0,03100	
	III					15	0,05933
	IV					0,08828	
ПС-25 ПМС-25	I	15		10		0,00793	0,01477
	II		15	0,00793	0,02697		
	III				15		0,04980
	IV				0,07370		
ПС-35 ПМС-35	I	15			10	0,00795	0,01330
	II		15	0,00795	0,02219		
	III				15		0,03802
	IV				0,05532		
ПС-50 ПМС-50	I	15			10	0,00795	0,01232
	II		15	0,00795	0,01935		
	III				15		0,03146
	IV				0,04427		
ПС-70 ПМС-70	I	15			10	0,0080	0,01113
	II		15	0,0080	0,01600		
	III				15		0,02395
	IV				0,03248		

Для районов, где толщина стенки гололеда превышает 20 мм, удельные нагрузки проводов следует в каждом отдельном случае подсчитывать по формулам (20), (21), (22) и (23).

**Максимальная стрела провеса.** Величина стрелы провеса провода ( $f$ ) зависит в основном от расстояния между точками крепления провода и механического напряжения в его материале. В меньшей степени величина  $f$  определяется маркой провода. Так, максимальная разность в стрелах провеса стальных проводов различных марок при отсутствии дополнительных внешних нагрузок для одних и тех же проводов и напряжений составляет всего около 2%.

Минимальная стрела провеса ( $f_{\text{мин}}$ ) всегда соответствует низшей температуре воздуха и отсутствию внешних дополнительных нагрузок.

Максимальная стрела провеса имеет место либо при температуре воздуха  $+40^{\circ}\text{C}$  и отсутствии дополнительных внешних нагрузок, либо при гололеде без ветра и температуре  $-5^{\circ}\text{C}$ .

В воздушных сетях до 1 000 в за максимальную стрелу провеса ( $f_{\text{макс}}$ ) принимают, как правило, стрелу провеса при температуре  $+40^{\circ}\text{C}$  ( $f_{+40}$ ), так как в подавляющем большинстве случаев именно при этих условиях стрела наиболее велика.

Величина  $f_{\text{макс}}$  выбирается, исходя из нормируемых ПУЭ расстояний от проводов ВЛ до земли и сооружений ( $C$ ) и полезной высоты опоры ( $H$ ). При этом во всех случаях величина  $C$  должна быть не менее:

6 м до поверхности земли в населенной местности;  
5 м до поверхности земли в ненаселенной местности;  
4 м до поверхности земли в труднодоступных местностях;

1 м до кроны деревьев и кустарников;

2 м до наивысшего уровня воды при пересечении несудоходных рек и каналов (от льда 6 м для населенной местности и 5 м для ненаселенной местности);

7,5 м до полотна железной дороги (до головки рельса);

6 м до полотна железной дороги узкой колеи необщего пользования;

2 и 3 м до проводов ВЛ 6—10 и 35—110 кв (при пересечении) соответственно;

1,25 м до проводов линий связи (при пересечении);  
 1 м до канатных дорог и надземных трубопроводов;  
 1,5 м до проводов контактной сети трамвая и троллейбуса (при пересечении);

7 м до полотна автомобильных дорог I класса;

6 м до полотна автомобильных дорог II класса.

При известных величинах  $H$  и  $C$  значение  $f_{\text{макс}}$  определяется из выражения

$$f_{\text{макс}} = H - C, \text{ м.} \quad (24)$$

Из этого не следует, однако, что  $f_{\text{макс}}$  может быть установлена, исходя только из фактических (известных) значений  $H$  и  $C$ ; в некоторых случаях это может привести к недопустимым явлениям. При очень большой величине  $H$  (например, при использовании на месте строительства готовых опор значительной высоты) стрелы провеса  $f_{\text{макс}}$ , вычисленные по (24), могут иметь чрезвычайно большие значения.

Так, например, для ВЛ, расположенной в ненаселенной местности, при  $H=9,0$  м получим  $f_{\text{макс}}=9-5=4$  м, что совершенно недопустимо из-за возможности схлестывания проводов в пролете.

Малая величина  $H$  определяет и малую величину  $f_{\text{макс}}$ . Например, при  $H=6,5$  м в условиях населенной местности максимальная стрела провеса составит  $f_{\text{макс}}=6,5-6=0,5$  м. В этом случае стрела провеса при низкой температуре воздуха или при гололеде, ветре и температуре  $-5^{\circ}\text{C}$  будет еще меньше, что приведет к повышению напряжения в материале провода. При очень малых значениях  $f_{\text{макс}}$  нагрузки от тяжения проводов могут превысить нагрузки, допустимые механической прочностью изоляторов и арматуры, что совершенно неприемлемо.

При выборе величины  $f_{\text{макс}}$  принимают следующие значения  $f_{\text{макс}}$ :

Районы гололедности	$f_{\text{макс}}, \text{ м}$
I — II	1,0
III — IV	1,5
Особый	1,5 — 2,0

По этим значениям можно для любых условий определить наивыгоднейшую величину  $H$  из выражения

$$H = f_{\text{макс}} + C, \text{ м.}$$

**Пример 15.** Определить полезную высоту опоры  $H$  для ВЛ, расположенной в III районе гололедности. Местность ненаселенная. Решение. Рекомендуемая стрела провеса  $f_{\text{макс}}=1,5$  м. Нормируемое расстояние от провода до земли  $C=5$  м. Полезная высота опоры  $H=1,5+5=6,5$  м.

**Взаимное расположение проводов.** Взаимным расположением проводов называют расстояния между проводами и порядок их размещения в точках закрепления (на опорах, стенах зданий и т. п.). В воздушных сетях до 1000 в может применяться любое расположение проводов. При этом расстояния по вертикали между проводами должны быть не менее: 40 см в I и II и 60 см в III и IV районах гололедности.

При горизонтальном расположении проводов указанные расстояния могут быть уменьшены до 20 или 30 см в I и II районах гололедности (соответственно при пролетах до 30 и более 30 м) и до 40 см в III и IV районах. При устройстве спусков на опорах или кронштейнах и других конструкциях, закрепленных на стенах зданий, расстояния в условиях всех районов гололедности могут быть уменьшены до 15 см.

**Порядок размещения проводов из различных материалов.** При подвеске проводов на ВЛ необходимо соблюдать определенный порядок их взаимного размещения. Дело в том, что при изменении температуры окружающего воздуха стрелы провеса проводов из разных материалов изменяются в разной степени. Так, наибольшую разницу в стрелах провеса при минимальной и максимальной температурах имеют алюминиевые провода, наименьшую — стальные.

В связи с этим при наиболее неблагоприятных условиях (например, при температуре — 40°С) алюминиевый провод, расположенный в пролете ниже стального, может приблизиться к последнему на расстояние меньше нормированного, а в некоторых случаях — и коснуться его, что, конечно, недопустимо.

Поэтому при подвеске стальных проводов совместно с алюминиевыми (равно как и с проводами из других цветных металлов) при их вертикальном расположении необходимо во всех случаях стальные провода размещать ниже других.

При подвеске на ВЛ только стальных проводов (независимо от их сечения и конструкции) может приме-

няться любой порядок их размещения, так как стрелы провеса в этом случае при изменении температуры будут изменяться в равной степени, что исключает возможность сближения проводов в полете.

**Расчетные напряжения в проводе.** Определение расчетных напряжений в проводе (т. е. нагрузок в килограммах на  $1 \text{ мм}^2$  его поперечного сечения) является основным элементом механического расчета.

Минимальное напряжение в проводах имеет место в случаях, когда на провод не действуют дополнительные механические нагрузки от ветра и гололеда, а температура воздуха соответствует высшей расчетной температуре данного района. Обычно за минимальное напряжение в проводе ( $\sigma_{\text{мин}}$ ) принимают напряжение при температуре воздуха  $+40^\circ \text{C}$  ( $\sigma_{+40}$ ). Величина этого напряжения определяется по формуле

$$\sigma_{+40} = \frac{l^2 \gamma_1}{8f_{\text{макс}}}, \text{ кг/мм}^2, \quad (25)$$

где  $l$  — длина пролета между точками крепления провода,  $м$ ;

$\gamma_1$  — удельная нагрузка от собственного веса провода,  $\text{кг/м} \cdot \text{мм}^2$ ;

$f_{\text{макс}}$  — максимальная стрела провеса провода при температуре  $+40^\circ \text{C}$ .

Как видно из формулы, значение  $\sigma_{+40}$  определяется переменными величинами  $l$  и  $f_{\text{макс}}$  и практически постоянной для всех проводов из одного и того же металла величиной  $\gamma_1$ . Как видно из табл. 12, значения  $\gamma_1$  для стальных проводов всех марок колеблются в пределах от 0,00782 (провод ПСО-3,5) до 0,008 (провода ПС-95, ПМС-95). Такая ничтожная разница не может существенно отразиться на результатах расчета. Поэтому принимают усредненное значение  $\gamma_1 = 0,0079 \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2$  для стальных проводов всех марок, а формулу (25) представляют в виде

$$\sigma_{+40} = \frac{k}{f_{\text{макс}}}, \text{ кг/мм}^2. \quad (26)$$

где  $k$  — вспомогательный коэффициент, значения которого для различных пролетов приведены ниже.

Длина пролета, м	Коэффициент, к
25	0,617
30	0,888
35	1,210
40	1,580
45	1,998

В табл. 13 приведены значения минимальных напряжений в материале провода для различных пролетов и стрел провеса ( $f_{\max}$ ) при температуре окружающего воздуха  $+40^{\circ}\text{C}$ . Данные таблицы могут быть использованы только в том случае, если температура воздуха, стрелы провеса и пролеты конкретной ВЛ соответствуют приведенным в таблице величинам. В противном случае необходимо пользоваться формулой (25) или (26).

Таблица 13

Максимальная стрела провеса $f_{\max}$ при $t=+40^{\circ}\text{C}$ , м	Длина пролета, м	Минимальное напряжение в проводе (при $t=+40^{\circ}\text{C}$ ), кг/мм <sup>2</sup>
1,2	25	0,516
1,5		0,412
1,2	30	0,741
1,5		0,594
1,0	35	1,210
1,2		1,010
1,5		0,805
1,0	40	1,580
1,2		1,318
1,0	45	1,998
1,2		1,668

Максимальное напряжение в материале провода ( $\sigma_{\max}$ ) может иметь место при одном из следующих расчетных режимов:

1) температура воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$  при гололеде и ветре;

2) температура воздуха  $-40^{\circ}\text{C}$ , гололед и ветер отсутствуют.

Во всех случаях величина  $\sigma_{\max}$  не должна превышать значений, определяемых номинальными коэффициентами запаса прочности проводов (19), а также изоляторов и арматуры.

Для определения  $\sigma_{\max}$  используется уравнение состояния провода в пролете

$$\sigma_l - \frac{l^2 \gamma_l^2}{24 \beta \sigma_l^2} = \sigma_{\max} - \frac{l^2 \gamma_{\max}^2}{24 \beta \sigma_{\max}^2} - \frac{\alpha}{\beta} (t_1 - t_2). \quad (27)$$

В этом уравнении:

$\sigma_t$  — напряжение в проводе, определенное по (26); при этом в конкретных условиях  $\sigma_t$  может не соответствовать  $\sigma_{+40}$ ; если для расчета используется значение стрелы провеса при любой другой температуре ( $f_t$ ), то напряжение  $\sigma_t$  вычисляется как

$$\sigma_t = \frac{\kappa}{f_t}, \text{ кг/мм}^2;$$

$\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$  — коэффициент линейного расширения стального провода;

$\beta = 50 \cdot 10^{-6}$  — коэффициент упругого удлинения стального провода;

$t_1$  — температура воздуха, °С, соответствующая напряжению провода  $\sigma_t$ ;

$t_2$  — температура воздуха, °С, соответствующая напряжению провода  $\sigma_{\text{макс}}$  (—5 или —40°С);

$\gamma_{\text{макс}}$  — удельная нагрузка, при которой в проводе возникает напряжение  $\sigma_{\text{макс}}$ , кг/м·мм<sup>2</sup>.

Наименования остальных величин приведены выше в (25).

В формуле (27) значения всех величин, за исключением  $\sigma_{\text{макс}}$ ,  $\gamma_{\text{макс}}$  и  $t_2$ , известных в начале расчета. Чтобы решить, какими значениями  $\gamma_{\text{макс}}$  и  $t_2$  следует воспользоваться для определения  $\sigma_{\text{макс}}$ , необходимо руководствоваться следующими рекомендациями. Максимальному напряжению в проводе ( $\sigma_{\text{макс}}$ ) могут соответствовать следующие сочетания величин: либо  $\gamma_{\text{макс}} = \gamma_1$  и  $t_2 = -40^\circ\text{С}$ , либо  $\gamma_{\text{макс}} = \gamma_7$  и  $t_2 = -5^\circ\text{С}$ .

Подставив в формулу (27) величины  $\gamma_{\text{макс}} = \gamma_1$  и  $t_2 = -40^\circ\text{С}$  или  $\gamma_{\text{макс}} = \gamma_7$  и  $t_2 = -5^\circ\text{С}$  и решив ее для обоих расчетных условий, определяют два значения  $\sigma_{\text{макс}}$ , одно из которых всегда будет больше другого. Большая величина  $\sigma_{\text{макс}}$  соответствует максимальному напряжению в материале провода.

Используя известные в начале расчета постоянные значения  $l$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  и  $t_1$ , а также значения  $t_2$  (—5 или —40°С), формулу (27) упрощают:

$$\sigma_t - \frac{A}{\sigma_t^2} = \sigma_{\text{макс}} - \frac{B\gamma_{\text{макс}}^2}{\sigma_{\text{макс}}^2} - C, \quad (28)$$

где  $A$ ,  $B$  и  $C$  — коэффициенты, зависящие от материала провода, длины пролета и расчетных температур.

Значения коэффициентов  $A$  и  $B$  приведены в табл. 14, а коэффициента  $C$  — в табл. 15.

Таблица 14

Длина пролета, м	Коэффициенты	
	$A$	$B$
25	32,5	$0,52 \cdot 10^6$
30	46,8	$0,75 \cdot 10^6$
35	63,6	$1,02 \cdot 10^6$
40	83,3	$1,33 \cdot 10^6$
45	105,4	$1,69 \cdot 10^6$

Таблица 15

Температура, $t_1$ , °С	Коэффициент $C$ при температурах	
	$t_2 = -40^\circ \text{С}$	$t_2 = -5^\circ \text{С}$
40	19,2	10,8
30	16,8	8,4
20	14,4	6,0
10	12,0	3,6
0	9,6	1,2
-10	7,2	-1,2
-20	4,8	-3,6
-30	0,4	-6,0
-40	0	-8,4

Промежуточные значения коэффициента  $C$  могут быть получены интерполяцией. Например, зная из табл. 15 значение  $C=19,2$  при  $t_1=40^\circ \text{С}$  и  $C=16,8$  при  $t_1=-30^\circ \text{С}$ , легко определить, что при  $t_1=35^\circ \text{С}$   $C=16,8 +$

$$+ \frac{19,2-16,8}{2} = 18,0.$$

**Пример 16.** На ВЛ установлен пролет  $l_p = 40$  м. Стрела провеса провода марки ПС-25 при температуре  $+40^\circ \text{С}$   $f_{\text{макс}} = 1,0$  м. Расчетные условия соответствуют II району гололедности. Определить максимальное напряжение в материале провода ( $\sigma_{\text{макс}}$ ).

**Решение.** По формуле (26) или из табл. 13 находим величину напряжения в проводе при  $t = +40^\circ \text{С}$ :

$$\sigma_{+40} = \frac{k}{f_{\text{макс}}} = \frac{1,58}{1,0} = 1,58 \text{ кг/мм}^2.$$

Из уравнения (28) определяем напряжение в проводе при  $t = -40^\circ \text{C}$  и отсутствии гололеда и ветра, т. е. при  $\gamma_{\text{макс}} = \gamma_1$ :

$$\sigma_t - \frac{A}{\sigma_t^2} = \sigma_{\text{макс}} - \frac{B\gamma_{\text{макс}}^2}{\sigma_{\text{макс}}^2} - C.$$

Подставив в уравнение известные величины (см. табл. 12, 14 и 15), получим:

$$1,58 - \frac{83,3}{1,58^2} = \sigma_{\text{макс}} - \frac{1,33 \cdot 10^6 \cdot 0,0079^2}{\sigma_{\text{макс}}^2} - 19,2.$$

После выполнения необходимых подсчетов уравнение принимает вид

$$-12,52\sigma_{\text{макс}}^2 = \sigma_{\text{макс}}^3 - 83,3, \text{ или } \sigma_{\text{макс}}^3 + 12,52\sigma_{\text{макс}}^2 = 83,3.$$

Решая уравнение методом подбора относительно  $\sigma_{\text{макс}}$ , получаем:  $\sigma_{\text{макс}} = 2,36 \text{ кг/мм}^2$ .

Определяем напряжение в проводе при  $t = -5^\circ \text{C}$ , гололеде и ветре, т. е. при  $\gamma_{\text{макс}} = \gamma_7$ :

$$1,58 - \frac{83,3}{1,58^2} = \sigma_{\text{макс}} = \frac{1,33 \cdot 10^6 \cdot 0,02697^2}{\sigma_{\text{макс}}^2} - 10,8.$$

После вычислений имеем:  $-20,92\sigma_{\text{макс}}^2 = \sigma_{\text{макс}}^3 - 967,0$  или  $\sigma_{\text{макс}}^3 + 20,92\sigma_{\text{макс}}^2 = 967,0$ , откуда  $\sigma_{\text{макс}} = 5,98 \text{ кг/мм}^2$ .

Следовательно, максимальное напряжение в проводе будет  $\sigma_{\text{макс}} = 5,98 \text{ кг/мм}^2$ , а максимальное усилие по проводу составит  $T = \sigma_{\text{макс}} F = 5,98 \cdot 24,6 = 147,5 \text{ кг}$ .

Здесь  $F$  — фактическое поперечное сечение провода,  $\text{мм}^2$ .

Коэффициент запаса прочности  $n$  провода определяется из (19):

$n = \frac{\sigma_{\text{вд}}}{\sigma_{\text{макс}}} = \frac{65}{5,98} = 10,8$ , что значительно больше требуемого ПУЭ (см. § 6).

При очень малых величинах стрел провеса максимальные напряжения в проводах при определенных условиях могут превысить значения, допускаемые механической прочностью изоляторов и линейной арматуры. Подтверждением этого может служить приведенный ниже пример расчета.

Поскольку способ расчета был уже подробно иллюстрирован выше, пример дается в сжатой форме.

**Пример 17.** На ВЛ с расчетным пролетом  $l_p = 45 \text{ м}$  предусматривается подвеска провода марки ПС-70. Исходя из полезной высоты опоры  $H = 6,5 \text{ м}$  и нормированных ПУЭ расстояний от проводов до поверхности земли  $C \geq 6,0 \text{ м}$ , максимальная стрела провеса при  $t = -40^\circ \text{C}$  принята  $f_{\text{макс}} = 0,5 \text{ м}$ .

Определить максимальное напряжение в проводе  $\sigma_{\text{макс}}$ , если расчетные условия соответствуют I району гололедности.

Решение. Напряжение в проводе при температуре  $+40^\circ\text{C}$

$$\sigma_{+40} = \frac{\kappa}{f_{\text{макс}}} = \frac{1,998}{0,5} \approx 4,0 \text{ кг/мм}^2.$$

Напряжение в проводе при  $t = -40^\circ\text{C}$  и отсутствии гололеда и ветра по (28) находим из:

$$4 - \frac{105,4}{4^2} = \sigma_{\text{макс}} - \frac{1,69 \cdot 10^6 \cdot 0,008^2}{\sigma_{\text{макс}}^2} = 19,2,$$

или

$$\sigma_{\text{макс}}^3 - 16,61\sigma_{\text{макс}}^2 = 108,2$$

откуда

$$\sigma_{\text{макс}} = 17,0 \text{ кг/мм}^2.$$

Напряжение в проводе при  $t = -5^\circ\text{C}$ , гололеде и ветре находим из

$$4 - \frac{105,4}{4^2} = \sigma_{\text{макс}} - \frac{1,69 \cdot 10^6 \cdot 0,03248^2}{\sigma_{\text{макс}}^2} = 10,8,$$

или

$$\sigma_{\text{макс}}^3 - 8,21\sigma_{\text{макс}}^2 = 555,$$

откуда

$$\sigma_{\text{макс}} = 12,03 \text{ кг/мм}^2.$$

Следовательно, максимальное напряжение в материале провода будет  $\sigma_{\text{макс}} = 17,0 \text{ кг/мм}^2$ .

Максимальное усилие от тяжения провода составит

$$T = \sigma_{\text{макс}} F = 17 \cdot 78,9 = 1341 \text{ кг}.$$

Результаты расчета показывают, что горизонтальная нагрузка от тяжения провода намного превышает нагрузку, допустимую механической прочностью изоляторов и штырей (табл. 16). Так, например, для изолятора типа ШЛН-I и штыря, предназначенного для его закрепления, обладающих наибольшей механической прочностью, эта нагрузка превышает допустимую более чем в 3 раза, что, конечно, недопустимо. Чтобы в данном случае обеспечить необходимую механическую устойчивость линии, следует увеличить полезную высоту опоры  $H$  и максимальную стрелу провеса  $f_{\text{макс}}$  до рекомендуемых значений (см. выше).

## 8. МОНТАЖНЫЕ СТРЕЛЫ ПРОВЕСА

Монтаж проводов воздушных линий производится, как правило, по кривым или таблицам стрел провеса проводов методом визирования. Величины монтажных стрел провеса для различных температур воздуха во время монтажа определяются, исходя из следующих расчетных условий:

$t_1$  — расчетная температура воздуха монтажного режима;

$t_2$  — исходная температура (при  $\gamma_{\max} = \gamma_1$ ;  $t_2 = -40^\circ \text{C}$  и при  $\gamma_{\max} = \gamma_7$ ;  $t_2 = -5^\circ \text{C}$ ).

Ветер и гололед отсутствуют.

Расчет монтажных стрел провеса выполняется в следующей очередности:

1. Устанавливается расчетный пролет  $l_p$  и величина максимальной стрелы провеса ( $f_{\max}$ ).

2. Вычисляется максимальное напряжение в проводе ( $\sigma_{\max}$ ).

3. Определяются напряжения в проводе при различных значениях температуры воздуха во время монтажа ( $\sigma_t$ ).

4. Вычисляются величины монтажных стрел провеса  $f_t$  по формуле

$$f_t = \frac{l_p^2 \gamma_t}{8\sigma_t}, \text{ м.} \quad (29)$$

По данным расчета строятся кривые монтажных стрел провеса проводов или таблицы, которые показывают, какую стрелу провеса нужно задать в зависимости от температуры, длины пролета, района гололедности и марки провода.

Пример выполнения монтажных кривых приведен на рис. 17.

Рассмотрим в качестве примера, как выбрать стрелу провеса для провода марки ПС-35 при длине пролета 45 м в I районе гололедности, если провод монтируется при температуре  $-5^\circ \text{C}$ .

Для провода марки ПС-35 нужно воспользоваться рис. 17, а. Пролету 45 м и I району гололедности соответствует кривая 4. Найдя на горизонтальной оси точку « $-5^\circ$ », проводим из нее вертикаль до пересечения с кривой 4. Затем из точки пересечения проводим горизонталь

до пересечения с вертикальной осью, определив таким образом стрелу провеса 1 м 4 см.

Более подробно расчет и использование монтажных кривых стрел провеса проводов в сетях до 1000 в изложены в брошюре П. А. Анастасиева и Ю. А. Фролова «Воздушные линии до 1000 в» («Библиотека электромонтера», вып. 87).

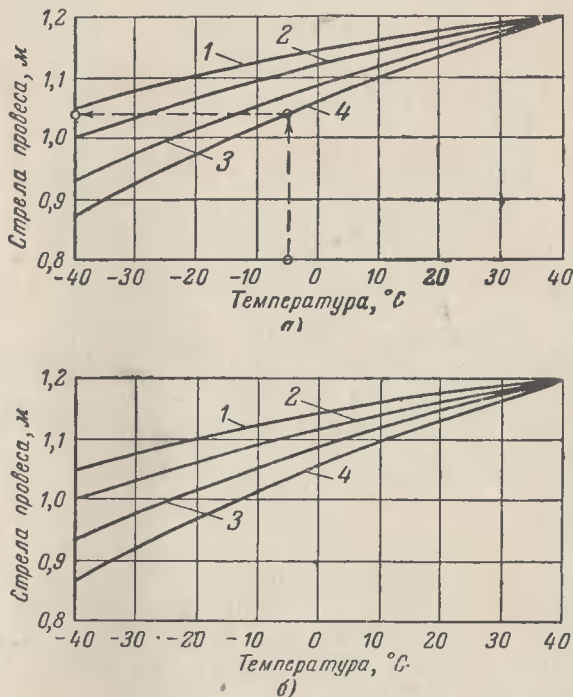


Рис. 17. Монтажные кривые проводов.

а—провода ПС-25, ПС-35 ( $f_m=1,2$  м); б—провода ПСО-3,5—ПСО-5 ( $f_m=1,2$  м).

1— $l=30$  м, IV район гололедности; 2— $l=35$  м, II, III районы гололедности; 3— $l=40$  м, I, II районы гололедности; 4— $l=45$  м, I район гололедности.

## 9. ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

Для изоляции проводов в сетях до 1000 в используются штыревые изоляторы. Наиболее широко распространены фарфоровые изоляторы типов ТФ и ШЛН, а также изоляторы из закаленного стекла типа ТС.

Крепление изоляторов осуществляется на стандартных крюках или штырях. В некоторых случаях, когда реальные нагрузки не позволяют применить стандартные типы крюков, последние изготавливаются из круглой стали большего диаметра.

Крюки, как правило, прикрепляют непосредственно к стойкам опор, а штыри — к траверсам или кронштейнам.

Выбор изоляторов, крюков или штырей производится в каждом конкретном случае, исходя из расчетных нагрузок от тяжения проводов, давления ветра и веса провода с гололедом. При этом принимаются следующие значения коэффициента запаса прочности по отношению к разрушающей нагрузке: при нормальном тяжении проводов — 2,5, при ослабленном тяжении — 3,0.

Таблица 16

Наименование	Допустимая нагрузка, кг	
	Ослабленное тяжение	Нормальное тяжение
<b>Изоляторы</b>		
ТФ-2, ТС-2 . . . . .	267	320
ТФ-3, ТС-3 . . . . .	200	240
ШЛН-1 . . . . .	333	400
ШЛН-2 . . . . .	267	320
ШЛН-3 . . . . .	100	120
ШЛН-4 . . . . .	50	60
<b>Крюки</b>		
КН-16 . . . . .	53/55	64/66
КН-18 . . . . .	53/73	64/88
КН-20 . . . . .	73/90	88/108
Ø 22 . . . . .	100/108	120/130
Ø 25 . . . . .	147/158	176/190
Ø 28 . . . . .	195/200	234/240
<b>Штыри</b>		
ШТ-2С, ШТ-2Д . . . . .	55	66
ШТ-3С, ШТ-3Д . . . . .	42	50
Для изоляторов ШЛН-1, ШЛН-2	333	400
Для изоляторов ШЛН-3, ШЛН-4	100	120

Примечание. В таблице приведены значения допускаемых горизонтальных нагрузок. Для крюков дополнительно в знаменателе указана допускаемая вертикальная нагрузка.

Допускаемые нагрузки на изоляторы, крюки и штыри с учетом нормируемых ПУЭ коэффициентов запаса приведены в табл. 16.

Крепление проводов, как правило, осуществляется к шейке изолятора при помощи проволочной вязки (на промежуточных опорах) и посредством скрутки, вязки и плашечных зажимов на опорах анкерного типа.

## 10. СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДОВ

**Требования к качеству соединений.** Качество соединения проводов на линии определяет надежность ее работы. Плохо выполненное соединение может привести к авариям и несчастным случаям, особенно при повреждении проводов на территории населенных пунктов и промышленных предприятий. Поэтому надежности соединения проводов следует уделять большое внимание.

Механическая прочность соединения должна быть не менее 90% прочности провода. Не должна снижаться и прочность проводов в местах, близких к соединению.

Очень важно обеспечить хороший электрический контакт. Плохой контакт обладает большим переходным сопротивлением, вследствие чего в нем выделяется сравнительно много тепла и контакт перегревается. Контакт начинает «гореть», и через некоторое время соединение разрушается.

Стальные провода могут поражаться коррозией (ржаветь) в тех местах, на которых по каким-либо причинам поврежден или полностью снят защитный слой (цинковое покрытие). Такие места могут быть у спаек, глубоких царапин, появившихся на проводе в результате небрежной перевозки или в процессе раскатки и монтажа на опоры.

Ржавчина, поразив незащищенную часть провода, проникает под цинковое покрытие; цинк начинает отслаиваться, опадать, что создает благоприятные условия для дальнейшего ржавления. Наиболее часто механические повреждения возникают у места соединения стальных проводов. Поэтому в процессе соединения должны быть приняты меры и к защите поверхности провода, как это показано ниже.

Стальные провода соединяют скруткой, сваркой, бандажной пайкой, овальными соединителями и плашеч-

ными зажимами. Последние допускается применять только в местах, где тяжение по проводу отсутствует (например, в перемычках).

**Соединение скруткой.** Простейший способ соединения однопроволочных проводов скруткой показан на рис. 18. Перед началом соединения концы проводов очищаются личневым напильником или мелкой наждачной бумагой до блеска на длине 30—40 см. После этого концы проволоки скручиваются, как показано на рис. 18, причем



Рис. 18. Соединение однопроволочных проводов скруткой.

витки плотно укладываются один к другому, а концы их спиливаются и зажимаются пассатижами или ручными тисками.

Законченную скрутку пропаивают припоем ПОС-30 или ПОС-18.

Пропаивание скрутки производится следующим образом. Подготовленную скрутку обильно смачивают лудильной водой. Припой разогревают в чугунном котелке с круглым дном. Когда припой становится совершенно жидким, котелок устанавливают под скруткой, большой железной ложкой с длинной ручкой черпают припой и обливают им скрутку так, чтобы припой снова сливался в котелок. Скрутку обливают припоем несколько раз, чтобы она прогрелась и чтобы припой затек в промежутки между витками. Пропаенную горячую скрутку встряхивают, ударяя по ней деревянной палкой или ручкой молотка, и протирают сложенной в несколько слоев масляной тряпкой.

Для получения лудильной воды в соляную кислоту бросают кусочки цинка до тех пор, пока не прекратится выделение газа и на поверхности кислоты не перестанут появляться пузырьки. Процесс травления продолжается 2—3 ч. Протравленную кислоту фильтруют через чистую тряпку и добавляют к ней одну треть по объему насыщенного раствора нашатыря.

Травление кислоты следует производить на открытом воздухе в сосуде с широким горлом, например в банке, так как при травлении выделяется большое количество водорода.

**Спайка бандажная** (рис. 19) подготавливается так же, как спайка скруткой, но линейные провода не скручиваются, а обвиваются спаечной проволокой, т. е. на провода накладывается бандаж.

Зачищенные и сложенные вместе концы провода зажимают в ручные тиски, после чего концы их отгибают

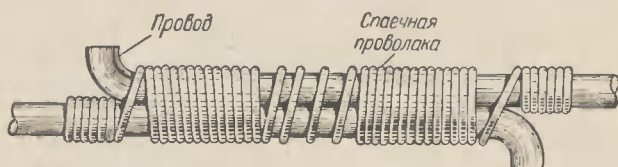


Рис. 19. Соединение однопроволочных проводов бандажной пайкой.

под углом 45—90°, оставляя для спайки место длиной 70—100 мм. После этого на место соединения туго наматывается бандаж из стальной спаечной проволоки диаметром 2,0—2,5 мм. Спаечная проволока имеет большой шаг навивки в средней части и плотно прилегающие витки по краям, как видно на рис. 19.

За отогнутыми концами соединяемых проводов накладывают еще 10—12 витков спаечной проволоки. Концы линейных проводов отпиливают на расстоянии около 3 мм выше бандажа.

Готовое соединение пропаивают припоем ПОС-30 или ПОС-18 так же, как это было описано выше.

Место соединения (скруткой или бандажное) после окончания монтажа, проверки и охлаждения покрывают битумом, следя за тем, чтобы были закрашены все места, где разрушен слой цинка.

**Соединение однопроволочных проводов сваркой.** Сварка стальных проводов в стык не допускается. Стальные однопроволочные провода разрешается соединять электрической сваркой только внахлестку. Длина сварного шва должна быть не менее 10  $d$ , где  $d$  — диаметр соединяемых проводов.

**Соединение проводов овальными соединителями.** Вставленные в соединитель многопроволочные провода

обжимаются специальными клещами или прессом. На трубке с проводами выдавливаются глубокие впадины, создающие между проводами плотный контакт. Применение овальных соединителей обеспечивает хорошие электрические свойства и высокую механическую прочность соединения.

На рис. 20 показаны чертеж и размеры овальных соединителей для стальных проводов различных сечений.

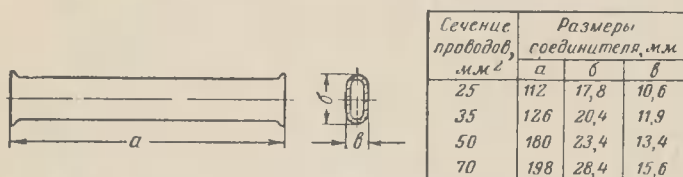


Рис. 20. Овальный соединитель. В таблице даны размеры соединителей для различных проводов.

Перед началом монтажа на концы соединяемых проводов накладывают бандаж, предохраняющие провод от развивания, и подравнивают ножовкой концы проводов. Затем с концов проводов снимают заусенцы и провод тщательно протирают бензином. Если провода покрыты ржавчиной, то их очищают более тщательно. Концы проводов очищают металлической щеткой и обмазывают тонким слоем свинцового сурика или техническим вазелином. Излишнее количество технического вазелина снижает прочность соединения.

Затем провода вводят в овальный соединитель с противоположных его концов так, чтобы прошедший через трубку провод выступал за пределы соединителя на 15—20 мм. Подготовленный таким образом соединитель обжимают клещами или прессом несколько раз в зависимости от диаметра провода и длины трубки. Углубления располагают так, как показано на рис. 21. Количество и места обжатий указываются на соединителе рисками.

Обжатие начинают с конца трубки по рискам, нанесенным на ней, так, чтобы крайние углубления были сделаны на разных сторонах узкой части трубки.

Для обжатия применяются специальные клещи типа МИ-19А или гидропрессы различных конструкций (типов МГП-12, МГП-25 и т. п.).

По окончании монтажа целесообразно замазать торцы соединителя свинцовым суриком.

Схематический чертеж клещей типа МИ-19А показан на рис. 22. Вокруг шарнира 1 поворачиваются жесткие



Рис. 21. Провода, соединенные овальным соединителем.

рычаги 2, в которых закрепляют вкладыши А и Б. Вращением рукоятки 6 и соединенного с нею винта 5 (на схеме показана только ось винта) стягиваются плашки 4, укрепленные на концах рычагов. Сдвигаясь, рыча-

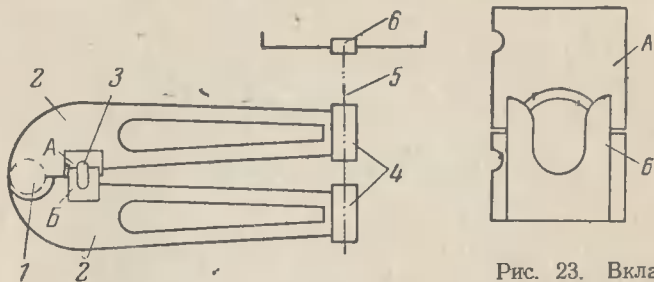


Рис. 22. Схематический чертеж клещей типа МИ-19А.

Рис. 23. Вкладыши к прессу.  
А — верхний;  
Б — нижний.

ги сжимают вкладыши А и Б, между которыми вкладывается обжимаемый овальный соединитель.

Каждому сечению соединяемого провода соответствуют специальные соединители и вкладыши, вставляемые в клещи или пресс. Конструкция клещей такова, что они могут сходиться, сжимая овальный соединитель, лишь на определенную, допустимую глубину. Поэтому подбор соединителей и вкладышей (рис. 23) производится по марке проводов. В отличие от клещей типа

МИ-19 прессы типов МГП имеют ручной привод не с винтом, а гидравлический. Мощность гидравлических приводов больше, и выполнение операций с ними удобнее.

Соединение стальных проводов плашечными болтовыми зажимами показано на рис. 24.

Перед соединением концы проводов обрабатывают так же, как и при подготовке их к соединению овальными соединителями. Плашечные зажимы для стальных

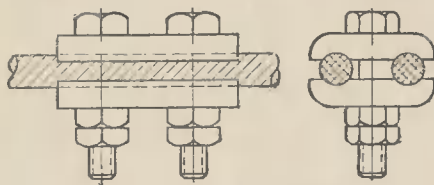


Рис. 24. Плашечный болтовой зажим для соединения проводов.

проводов поступают с заводов оцинкованными. Перед началом монтажа зажимы следует осмотреть и проверить нарезку болтов и гаек; в случае наличия плохой резьбы или плохо оцинкованных мест либо других дефектов зажим следует заменить. Желобки плашек смазывают тонким слоем технического вазелина и вкладывают соединяемые провода. После этого болты равномерно затягивают. Если после полной затяжки болтов окажется, что плашки касаются друг друга, то плашечный зажим следует заменить зажимом меньшего размера, так как отсутствие зазора между плашками свидетельствует о недостаточном нажатии на провода и, следовательно, плохом контакте. Через несколько дней после выполнения соединения следует дополнительно подтянуть болты, так как из-за уменьшения упругости проводов давление между проводами и плашками может уменьшиться и соединение ухудшится.

## 11. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТАЛЬНЫХ ШИНАХ

В распределительных устройствах электростанций и подстанций соединения генераторов, трансформаторов и аппаратуры выполняются медными, алюминиевыми и стальными проводами, именуемыми шинами.

Стальные шины прямоугольного сечения

Ширина, мм	Толщина, мм																	
	2,5		3		3,5		4		5		6		7		8		10	
	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м, кг	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м, кг	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м, кг	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м, кг	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м, кг	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м, кг	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м, кг	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м, кг	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м, кг
20	.50	0,39	60	0,47	70	0,55	80	0,63	100	0,79	120	0,94	140	1,10	160	1,26	200	1,57
25	62,5	0,49	75	0,59	87,5	0,69	100	0,79	125	0,98	150	1,18	175	1,37	200	1,57	250	1,97
30	75	0,59	90	0,71	105	0,82	120	0,94	150	1,18	180	1,41	210	1,65	240	1,88	300	2,36
40	100	0,79	120	0,94	140	1,10	160	1,26	200	1,57	240	1,88	280	2,20	320	2,51	400	3,14
50	125	0,98	150	1,18	175	1,37	200	1,57	250	1,96	300	2,36	350	2,75	400	3,14	500	3,93
60	150	1,18	180	1,41	210	1,65	240	1,88	300	2,36	360	2,83	420	3,30	480	3,77	600	4,71
70	175	1,37	210	1,65	245	1,92	280	2,20	350	2,75	420	3,30	490	3,85	560	4,40	700	5,50
80	200	1,57	240	1,88	280	2,20	320	2,51	400	3,14	480	3,77	560	4,40	640	5,02	800	6,28
90	225	1,77	270	2,12	315	2,47	360	2,83	450	3,53	540	4,24	630	4,95	720	5,65	900	7,07
100	250	1,96	300	2,36	350	2,75	400	3,14	500	3,93	600	4,71	700	5,50	800	6,28	1 000	7,85
120	—	—	—	—	—	—	480	3,77	600	4,71	720	5,65	840	6,59	960	7,54	1 200	9,42
150	—	—	—	—	—	—	600	4,71	750	5,89	900	7,07	1 050	8,24	1 200	9,42	1 500	11,78

Стальные шины обладают значительным удельным сопротивлением, превышающим приблизительно в 7 раз сопротивление медных и в 4,5 раза сопротивление алюминевых шин. Вместе с тем стальные шины дешевы и менее дефицитны. Стальные шины обычно применяют в установках при рабочем токе, не превышающем 200—

Таблица 18

Стальные шины круглого сечения

Диаметр, мм	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вес 1 м, кг
10	78,5	0,62
12	113	0,89
14	154	1,21
16	201	1,58
18	255	2,00
20	314	2,47
22	380	2,98
24	452	3,55
26	530	4,17
28	617	4,84
30	708	5,55

300 а. В установках постоянного тока стальные шины применяются и при больших токах.

Преимущественно распространены шины прямоугольного сечения. Круглые шины в сравнении с прямоугольными того же сечения обладают большим электрическим сопротивлением вследствие явления поверхностного эффекта. Сравнительно редко вследствие дефицитности в сетях до 1 000 в используются стальные трубы.

Для обеспечения хорошего охлаждения шины прямоугольного сечения применяют не толще 6 мм, а круглые шины — диаметром до 30 мм.

**Конструктивные данные шин.** Стальные шины изготовляют из обычной сортовой прокатной стали плоского или круглого сечения. Конструктивные характеристики шин даны в табл. 17 и 18.

**Электрические характеристики шин.** В сетях до 1 000 в сечение стальных шин выбирают по максимальному длительному току нагрузки. Допустимые длительные токовые нагрузки на голые окрашенные стальные шины приведены в табл. 19 и 20.

Окраска шин улучшает их охлаждение лучеиспусканием, в результате чего при той же допустимой температуре нагрева ток нагрузки окрашенных шин на 10—15% больше, чем неокрашенных.

Предельная температура шин при длительном токе не должна превышать 70°С при температуре окружающего воздуха 25°С. С увеличением сечения допускаемая

Допустимые нагрузки на стальные шины прямоугольного сечения

Ширина шин, мм	Допустимый ток, а, при толщине, мм							
	2,5		3,0		4,0		5,0	6,0
	Перемен- ный ток	Постоян- ный ток	Перемен- ный ток	Постоян- ный ток	Перемен- ный ток	Постоян- ный ток	Переменный ток	
16	55	70	—	—	—	—	—	—
20	60	90	65	100	70	115	80	85
25	75	100	80	120	85	140	95	105
30	—	—	95	140	100	165	115	120
40	—	—	125	190	130	220	150	155
50	—	—	155	230	165	270	180	180
60	—	—	185	280	195	325	215	220
70	—	—	215	320	225	375	250	255
75	—	—	230	345	—	—	—	—
80	—	—	245	365	260	430	280	290
90	—	—	275	410	290	480	310	325
100	—	—	305	460	325	535	355	365

плотность тока (т. е. ток на 1 мм<sup>2</sup> сечения) снижается вследствие ухудшения условий охлаждения.

Нагрузки на шины при постоянном токе несколько больше, нежели при переменном токе, в связи с отсутствием явлений поверхностного эффекта.

Таблица 20

Допустимые нагрузки на стальные шины круглого сечения

Диаметр, мм	Допустимая нагрузка при переменном токе, а
6	35
8	50
10	60
12	70
14	85
16	100
18	105
20	130
25	155
30	180

Однако и при таком расположении с увеличением числа полос на фазу допускаемая нагрузка возрастает не пропорционально числу полос, а значительно медленнее вследствие худшего охлаждения шин в пакете.

Кроме того, при переменном токе имеет большое значение так называемый «эффект близости». Каждая полоса пакета находится в переменном магнитном поле соседних полос, вследствие чего повышается ее активное сопротивление, а следовательно, и нагрев при одном и том же токе. В результате при двухполосных шинах общая нагрузка на шины равна не удвоенной нагрузке, допустимой для каждой из одиночных полос, а больше ее только в 1,65 раза. Трехполосные шины допускают двойную (а не тройную) нагрузку. Поэтому при переменном токе лучше применять не более двух и в виде исключения трех полос в пакете.

При постоянном токе явления поверхностного эффекта и эффекта близости отсутствуют, ток распределяется равномерно между полосами и поэтому можно применять пакеты с большим числом полос.

**Температура шин** изменяется с изменением их нагрузки и температуры окружающей среды. С изменением температуры нагрева шин меняется и их длина. Особенно значительно шины нагреваются и удлиняются при токах короткого замыкания. При жестком креплении шин на каждом опорном изоляторе удлинение привело бы к значительной деформации шин и возникновению добавочных изгибающих усилий на опорные изоляторы. Для предупреждения этого шины укрепляют не жестко, а с возможностью их продольного перемещения. При длинных шинных устройствах применяются специальные компенсаторы удлинения шин.

## 12. СОЕДИНЕНИЕ ШИН

**Общие указания.** В процессе монтажа шины тщательно очищают от грязи и ржавчины и окрашивают масляными или эмалевыми красками в цвета, присвоенные соответствующей фазе при переменном токе или полюсу при постоянном токе. Стальные шины монтируют обычно на опорных или иных изоляторах аналогично шинам из цветных металлов.

Наиболее распространено соединение стальных шин в местах, где не требуется разъем, электрической сваркой.

Там же, где по условиям эксплуатации требуется периодический разъем шин, а также в местах ответвлений

к аппаратуре применяются болтовые соединения. Эти соединения осуществляются либо непосредственно болтами, проходящими через отверстия соединенных внахлестку шин, либо сжимными плитами.

Соединение шин сжимными плитами является более рациональным, так как при этом обеспечивается лучший контакт, уменьшается количество операций при заготовке шин и значительно облегчается сборка при монтаже ошиновки. Сжимные плиты применяются как для соединения, так и для ответвления плоских шин.

В настоящее время заводами выпускаются двухболтовые, трехболтовые и четырехболтовые сжимные плиты (рис. 25 и 26).

Непосредственное соединение стальных шин с алюминиевыми не допускается. Если такое соединение оказывается необходимым, то его выполняют через медную промежуточную планку.

**Обработка контактных поверхностей.** Контактные поверхности в местах соединения шин тщательно очищают от ржавчины напильником, стальной щеткой, наждачной или стеклянной бумагой. Контактная поверхность должна быть ровной и плоской, без вмятин, выпуклостей и раковин. Поэтому при зачистке нужно следить за тем, чтобы края не были завалены при обработке напильником, а при обработке наждачной или стеклянной бумагой в отдельных местах не образовались впадины.

Контактные поверхности нельзя очищать шлифовальными кругами, так как в обрабатываемую поверхность могут попасть крупинки камня шлифовального круга. Нельзя также пользоваться при зачистке стальных шин напильниками или стальными щетками, которыми перед этим запиливали или зачищали шины из других металлов, так как их стружка, перенесенная через грязные инструменты, может ухудшить качество соединения.

Контактные поверхности не следует шлифовать до зеркального состояния, так как это не повышает качество соединения.

Контактные поверхности стальных шин, находящихся в сырых местах или в агрессивной среде, должны быть перед соединением облужены. В процессе облуживания контактную поверхность тщательно очищают, смачивают лудильной водой и затем опускают в котелок или ванночку с расплавленным припоем. Облуженный

участок шины тщательно промывают чистой водой и протирают сухой тряпкой. Перед производством соединения контактные поверхности покрывают тонким слоем технического вазелина.

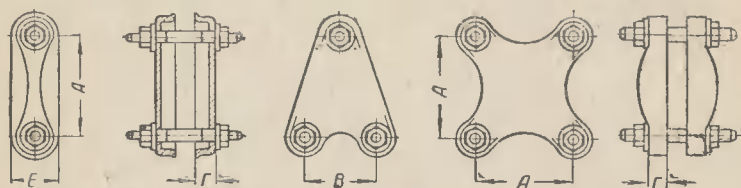


Рис. 25. Сжимные плиты.

**Сборка и консервация контактных соединений.** Для болтового соединения шин применяются полураспределенные болты и гайки, а также чистые шайбы. Диаметры болтов должны быть на 1—2 мм меньше диаметров отверстий в шинах. Длины болтов, соответствующие толщине пакета соединяемых шин, приведены в табл. 21.

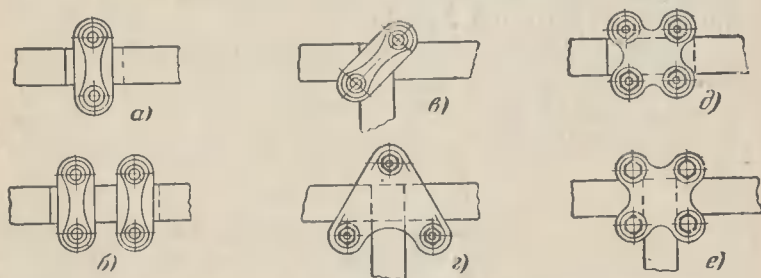


Рис. 26. Установка сжимных плит.

Гайки в болтовом соединении устанавливаются со стороны, наиболее удобной для осмотра и ремонта. Болты затягивают нормальными гаечными ключами без удлиненных ручек. Болты диаметром больше 10 мм затягиваются в два приема: первый раз усилие затяжки доводится до 40 кг, затем затяжку ослабляют и вторичную затяжку производят с нормальным усилием (15—20 кг).

После затяжки болтов наружные поверхности контактных соединений очищают чистой тряпкой от выдавленного вазелина.

Длина болтов для соединения шин, мм				
Толщина шин в месте соеди- нения, мм	Длина болтов при диаметре резьбы			
	М 6	М 10	М 12	М 16
4—6	16	20	25	30
7—10	20	25	30	32
11—13	25	30	32	35
14	—	30	32	35
15—18	—	32	35	40
19—20	—	35	40	45
21—24	—	40	40	45
25—28	—	45	45	50
29—30	—	45	50	55

В условиях агрессивной среды, а также в наружных установках и сырых помещениях линии швов контактных соединений окрашивают свинцовым суриком или полихлорвиниловой эмалью ПХВ-26 с предварительным покрытием грунтовкой № 138.

В открытых распределительных устройствах стальные болты, гайки и шайбы должны быть оцинкованы. В сухих закрытых помещениях допускается применение вороненых болтов, гаек и шайб.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок, Госэнергоиздат, 1959.
2. Рябков А. Я., Электрические сети и системы, Госэнергоиздат, 1960.
3. Баптиданов А. Н. и Тарасов В. И., Электрооборудование электрических станций и подстанций, Госэнергоиздат, 1959.
4. Анастаснев П. И. и Фролов Ю. А., Воздушные линии до 1000 в, Госэнергоиздат, 1963.
5. Инструкция по монтажу болтовых соединений шин и присоединений их к контактным выводам аппаратов, Госэнергоиздат, 1960.

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
1. Общие сведения о стальных проводах . . . . .	3
2. Электрические характеристики стальных проводов . . . . .	5
3. Как определить потери напряжения в линии . . . . .	12
4. Как определить потери мощности в линии . . . . .	20
5. Как проверить линию по нагреву током нагрузки . . . . .	22
6. Механическая прочность проводов . . . . .	23
7. Основные сведения о механическом расчете проводов . . . . .	26
8. Монтажные стрелы провеса . . . . .	41
9. Изоляторы и арматура . . . . .	42
10. Соединение проводов . . . . .	44
11. Общие сведения о стальных шинах . . . . .	49
12. Соединение шин . . . . .	53
Литература . . . . .	56

---

Цена 11 коп.

## ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ

- Ашкенази Г. И. и др., Электрооборудование театрально-зрелищных зданий, Госэнергоиздат, 1961, 35 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 57). 10 к.
- Волоцкой Н. В., Люминесцентные лампы и схемы их включения в сеть. Госэнергоиздат, 1962 г. 43 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 68). 8 к.
- Гумин М. И., Схемы управления масляными выключателями, автоматами и контакторами. Госэнергоиздат, 1962 г. 79 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 82) 15 к.
- Демчев В. И. и Царьков В. М., Прожекторное освещение. Госэнергоиздат, 1962 г. 60 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 61). 11 к.
- Дормакович П. А. и др., Изготовление и обслуживание газосветных установок. Госэнергоиздат, 1962 г. 50 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 72). 12 к.
- Злобин В. В., Испытания силовых трансформаторов при монтаже. Госэнергоиздат, 1962 г. 62 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 64). 13 к.
- Иевлев В. И. и Рябцев Ю. И., Монтаж трансформаторов напряжением 500 кв. Госэнергоиздат, 1961 г. 39 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 52). 8 к.
- Каetanович М. М., Как работают провода, изоляторы и арматура линий электропередачи. Госэнергоиздат, 1962 г. 63 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 63). 13 к.
- Камнев В. С., Подшипники качения в электрических машинах. Госэнергоиздат, 1960 г. 62 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 20). 15 к.
- Кожин А. Н., Релейная защита линий 3—10 кв на переменном оперативном токе. Госэнергоиздат, 1960 г. 61 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 38). 12 к.
- Колузаев А. М., Ремонт и обслуживание быстродействующих выключателей типа ВЛБ-2. Госэнергоиздат, 1962 г. 47 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 75). 9 к.
- Мусаэлян Э. С., Проверки и испытания при монтаже турбогенераторов. Обмотки статора и ротора. Госэнергоиздат, 1962 г. 79 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 66). 15 к.
- Плетнев Л. Ф., Реле прямого действия, их наладка и проверка. Госэнергоиздат, 1961 г. 46 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 48). 19 к.
- Харитонов М. Г., Опыт обслуживания и ремонта КРУ Запорожского завода. Госэнергоиздат, 1960 г. (Б-ка электромонтера. Вып. 17). 9 к.
- Чернев К. К., Обслуживание распределительных устройств высокого напряжения. Госэнергоиздат, 1961 г. 55 стр. (Б-ка электромонтера. Вып. 47). 11 к.

Перечисленные выше книги требуют в магазинах Книготорга. В случае их отсутствия в местных магазинах заказ можно направить по адресу: Москва, К-50, ул. Медведова 1, отдел «Книга — почтой» магазина № 8 «Техническая книга». Заказ будет выполнен наложенным платежом.

Госэнергоиздат заказов на книги не принимает и книг не высылает.