

71 Провода воздушных линий электропередачи

Провода являются одним из основных элементов линий электропередачи. От правильного выбора материала, сечения и конструкции проводов и тросов зависят технико-экономические показатели электропередачи и стоимость сооружения линии.

К проводам и тросам предъявляются следующие требования: материал проводов должен иметь хорошую электрическую проводимость;

материал проводов должен иметь малое электрическое сопротивление, что обеспечивает меньшие потери напряжения;

провода и тросы должны обладать высокой механической прочностью, обеспечивая допуск больших тяжёлых по ним, что в свою очередь позволяет снижать высоту опор или увеличивать длину пролетов, уменьшая стоимость сооружения линий;

материал проводов и тросов должен быть устойчивым к коррозии, особенно для линий, проходящих вблизи морских побережий и промышленных предприятий, загрязняющих атмосферу.

Для изготовления проводов применяются следующие материалы: медь, бронза, алюминий и его сплавы, сталь.

На ВЛ до 1 кВ могут применяться одно- и многопроволочные провода, на ВЛ выше 1 кВ – как правило многопроволочные провода.

На ВЛ применяются неизолированные провода:

- алюминиевые – А и АКП;
- из алюминиевого сплава – АЖ и АН;
- биметаллические сталеалюминиевые однопроволочные БСА;
- сталеалюминиевые – АС (в районах с загрязнённым воздухом – АСКС, АСКП, АСК);
- стальные – ПС, ПСО, ПМС;
- самонесущие изолированные провода – СИП.

Алюминиевые провода имеют сопротивление в 1,6 раза больше, чем медь, поэтому для передачи одинаковой электрической мощности на одно и то же расстояние требуются алюминиевые провода с сечением во столько же раз больше сечения медных проводов (наименьшее 16 мм²). Но если сравнить массу проводов из алюминия и меди, затраченных на монтаж одинаковых по длине линий, и их пропускную способность, окажется, что, имея большее сечение, алюминиевые провода будут весить примерно в два раза меньше медных (плотность алюминия в три с лишним раза меньше меди). Поэтому, а также из-за низкой стоимости и достаточной устойчивости к действию химически активных веществ (кроме щелочей, соляной кислоты и морских солей) алюминиевые провода почти повсеместно вытеснили медные.

Алюминиевые провода изготавливаются из проволоки диаметром 1,7...4,2 мм с временным сопротивлением на разрыв 15...16 кг/мм².

Небольшая прочность алюминия на разрыв по сравнению с медью и бронзой является его основным недостатком как материала для изготовления проводов и приводит к необходимости уменьшать длину пролетов линии, вызывая увеличение ее стоимости.

Стальные провода при высокой механической прочности имеют большое электрическое сопротивление, поэтому используются при передаче небольшой электрической мощности на малые расстояния (в небольших городах и поселках). Для ВЛ применяются провода стальные однопроволочные (ПСО) диаметром 3...5 мм и стальные многопроволочные провода с присадкой меди (0,2 % — ПС или 0,4 % — ПМС). В отличие от однопроволочных проводов меднистые стальные провода различаются не по диаметру, а по сечению (например, провод ПС-50, ПСМ-7С).

Применение *однопроволочных* проводов для воздушных линий ограничивается их низкой надежностью. Дефекты изготовления проволоки, повышенные механические нагрузки и вибрация сильнее сказываются на прочности однопроволочных проводов. Однопроволочные провода с большим сечением не производятся.

Многопроволочные провода могут иметь различное число проволок из одного или разных металлов. Число проволок N в многопроволочном проводе с центральной проволокой можно выразить через число слоев проволок n : $N = 3n(n - 1) + 1$. В проводе с тремя центральными проволоками $N = 3n^2$.

Скрутка повивов провода может быть правой (проволоки скручиваются вверх слева направо) или левой. Навивка смежных повивов может производиться в разных направлениях, что обеспечивает сохранение проводом круглой формы и препятствует его раскручиванию под действием силы тяжести.

Временное сопротивление многопроволочного провода в целом составляет 85...90 % от суммы временных сопротивлений его проволок, что объясняется различными условиями работы проволок в разных повивах.

Особым видом многопроволочных проводов являются *комбинированные* провода — *сталебронзовые* и *сталеалюминиевые*. Внутренние повивы таких проводов выполняются из высокопрочной стальной проволоки, а внешние — из бронзовой или алюминиевой. Стальной сердечник увеличивает прочность провода. В сталеалюминиевых проводах удачно сочетаются достаточно высокая проводимость алюминия с высокой механической прочностью стали. *Сталеалюминиевые* провода в настоящее время являются основным видом проводов, применяемых при сооружении линий.

В маркировке проводов указываются материал, из которого они изготовлены, и номинальное сечение их проводящей части. Медные провода маркируются буквой М, алюминиевые — А, сталеалюминиевые — АС, АСО, АСУ (соответственно нормальные, облегченные и усиленные, отличающиеся друг от друга различным соотношением сечений алюминия и стали).

По условиям механической прочности для воздушных линий с напряжением до 1 кВ применяются однопроволочные и многопроволочные провода с сечениями не менее: алюминиевые — 16 мм², сталеалюминиевые и биметаллические — 10 мм², стальные многопроволочные — 25 мм², а также стальные однопроволочные провода с диаметром 4 мм.

Расплетенные провода, а также однопроволочные стальные провода с диаметром выше 5 мм и однопроволочные биметаллические провода с диаметром выше 6,5 мм применять запрещается.

Грозозащитные тросы изготавливаются из оцинкованных высокопрочных стальных проволок, свитых в общий трос.

СИП (самонесущий изолированный провод) — тип провода, предназначенного для передачи и распределения электрической энергии в воздушных силовых и осветительных сетях напряжением от 0,4 кВ до 35 кВ.

В основном применяется система СИП, состоящая из трёх изолированных фазных проводов, навитых вокруг неизолированного нейтрального несущего провода. Изоляция проводников выполнена из полиэтилена низкой плотности LDPE ([англ. low density polyethylene](#)) или сшитого полиэтилена XLPE ([англ. cross-linked polyethylene](#)). Для подвески таких проводов требуются крюки, поддерживающие зажимы, анкерные зажимы и прокалывающие зажимы.

Сети 0,4 кВ выполняются трёхфазными, четырёхпроводными. Линия состоит из 1-5 изолированных проводов, навитых вокруг несущего проводника из алюминиевого сплава. Несущий проводник используется в качестве нейтрального провода. Несущий проводник может быть как голым, так и изолированным. Нейтральный провод заземлён на ТП и в конце каждой ветви¹ или линии длиной более 200 м, или на расстоянии не более 200 м от конца линии или ветви, где подключена нагрузка.



Самонесущий изолированный провод на деревянной опоре.



Самонесущий изолированный провод на железобетонной анкерной опоре, ЛЭП 0,4 кВ

Самонесущие изолированные провода в отличие от проводов неизолированных имеют изолирующее полиэтиленовое покрытие на фазных проводах и, в зависимости от модификации, имеют или не имеют подобное покрытие на несущем нейтральном проводе. Кроме того, **есть разновидность СИП без несущего провода, у которого все четыре провода изолированы**. Все три системы СИП на сегодняшний день являются равноправными, поскольку они одинаково широко получили распространение в десятках стран.

Преимущества СИП состоят в том, что при его использовании:

- **отсутствует** характерный для неизолированных линий **риск схлестывания проводов**;
- **уменьшается ширина просеки**; в городе требуется **меньшая полоса отчуждения земли**;

- применение СИП **снижает эксплуатационные расходы до 80%.**
- **затрудняются сторонние подключения** (для кражи электроэнергии).

Марки

По **ГОСТ 31946-2012** — «**ПРОВОДА САМОНЕСУЩИЕ ИЗОЛИРОВАННЫЕ И ЗАЩИЩЁННЫЕ** ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ»:

- Изоляция — из термопластичного светостабилизированного полиэтилена;
- Несущая жила — из алюминиевого сплава;
- СИП-1 — с неизолированной нулевой несущей жилой;
- СИП-2 — с изолированной нулевой несущей жилой;
- СИП-3 — с защитной изоляцией (6-35 кВ) запрещается производить работы на действующей ЛЭП.
- СИП-4 — без нулевой несущей жилы (только 16 и 25 мм²);
- СИПг — герметизированные СИП;
- СИПн — не распространяющие горение СИП.

Технические характеристики

- Номинальное напряжение СИП-1, СИП-2, СИП-4: 220/380 В; СИП-3 до 20 кВ (при слое изоляции 2,3 мм) или до 35 кВ (при слое изоляции 3,5 мм)

СИП-4 — провод самонесущий с алюминиевыми фазными токопроводящими жилами (без несущей жилы), с изоляцией из термопластичного светостабилизированного нульсшитого полиэтилена. Рабочее напряжение: переменное **до 220/380 В** с частотой 50 Гц.

- **Температура** эксплуатации: $-60 \div +50^{\circ}\text{C}$;
- Монтаж при температуре: не ниже -20°C
- Радиус изгиба при монтаже и установленного на опорах провода не менее 10D, где D — наружный диаметр провода.

- Допустимый нагрев токопроводящих жил при эксплуатации не должен превышать +90°C в нормальном режиме эксплуатации и +250°C — при коротком замыкании.
- Допустимые токовые нагрузки проводов, рассчитанные при температуре окружающей среды +25°C, скорости ветра 0,6 м/с и интенсивности солнечной радиации 1000 Вт/м², а также допустимые токи односекундного короткого замыкания в таблице ниже.
- Срок службы для кабеля: не менее 45 лет.
- Гарантийный срок эксплуатации: 5 лет.

Допустимые токовые нагрузки проводов марки СИП-4

Номинальное сечение токопроводящих жил, мм²	Допустимый ток нагрузки, А, не более	Допустимый ток односекундного короткого замыкания, кА, не более
16	76	0,87
25	?	?
35	160	3,20
50	195	4,60
70	240	6,50
95	300	8,80
120	340	10,90