**Общие принципы выбора проводов и кабелей**

Проектирование электропроводок заключается в выборе типа используемого провода или кабеля и сечения токопроводящего проводника, а также способов их прокладки. В пределах жилых зданий используются, как правило, изолированные провода и кабели с медными жилами напряжением до 1000 В.

Типы проводов или кабелей определяют:

- вид изоляции токоведущих жил (резиновая, поливинилхлоридная, полиэтиленовая и пр.);

- наличие общих оболочки и оплетки;

- горючесть изоляционного материала провода или кабеля;

- материал токоведущих жил (медь, алюминий);

- гибкость материала токоведущей жилы;

- конструктивное выполнение (круглый, плоский, самонесущий и др.);

- специальное назначение (например: для водопогружных насосов; повышенной термической стойкости и др.);

- напряжение (250, 380, 660 и 1000 В);

- число токоведущих жил.

Выбор типа провода или кабеля зависит от следующих факторов:

- от предполагаемого места прокладки и способа монтажа (в земле, в воздухе, в трубах, в коробах, на лотках и кронштейнах, открыто без крепления, открыто на изоляторах, скрыто);

- от категории помещений (сухие, влажные, сырые, особо сырые, особо сырые с химически активной средой);

- от влияния внешних воздействий (температура окружающей среды; наличие воды, пыли, коррозионно-активных и загрязняющих веществ; механические внешние воздействия; наличие флоры и фауны; солнечное излучение; конструкция здания);

- от уровня напряжения питающей сети.

Электроснабжение коттеджей в большинстве случаев выполняется голыми (неизолированными) алюминиевыми или медными проводами. Эти провода при помощи фарфоровых, стеклянных или пластиковых изоляторов подвешиваются на деревянные или железобетонные опоры. Электрический ввод непосредственно в коттедж осуществляется от ближайшей опоры изолированным проводом.

Выбранные проводники и защищающие их устройства должны удовлетворять следующим условиям:

- проводить, не перегреваясь, расчетный ток нагрузки, а также выдерживать кратковременные перегрузки;

- падение напряжения в проводнике не должно превышать нормированных значений;

- защитные устройства (автоматические выключатели, предохранители) должны защищать проводники от перегрузки и коротких замыканий.

Кроме вышеперечисленного проводники выбираются и по механической прочности.

**5.2. Выбор сечения токопроводящей жилы**

Сечения токопроводящей жилы проводов и кабелей выбираются согласно ПУЭ по условию нагрева длительным расчетным током в нормальном и послеаварийном режимах и проверяются по потере напряжения, соответствию току выбранного аппарата защиты и условиям окружающей среды.

При прокладке внутри помещений сечение выбирается по максимальному расчетному току нагрузки:



где: Iд.н. - допустимый номинальный ток нагрузки проводника при расчетной температуре, А (для отечественных кабелей – 250 oС; для импортных кабелей 300 oС);

Ip max - максимальный расчетный ток нагрузки, А.

При этом номинальный ток автоматического выключателя 1н.а защищающего проводник, должен быть равен или больше максимального тока нагрузки



Сечение токоведущей жилы в зависимости от величины тока для различных типов проводов и кабелей и при различных способах их прокладки приводятся в ПУЭ, справочниках и в материалах завода-изготовителя провода или кабеля.

Таблица 5.1 **Допустимый длительный ток для проводов с резиновой и ПВХ изоляцией**

|  |  |
| --- | --- |
| Сечение жилы,мм2 | Ток для проводов (А), проложенных |
| открыто | в одной трубе |
| двуходножильных | треходножильных | четыреходножильных | одного двухжильного | одного трехжильного |
| Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL |
| 1 | 17 | - | 16 | - | 15 | - | 14 | - | 15 | - | 14 | - |
| 1.5 | 23 | - | 19 | - | 17 | - | 16 | - | 18 | - | 15 | - |
| 2.5 | 30 | 24 | 27 | 20 | 25 | 19 | 25 | 19 | 25 | 19 | 21 | 16 |
| 4 | 41 | 32 | 38 | 28 | 35 | 28 | 30 | 23 | 32 | 25 | 27 | 21 |
| 6 | 50 | 39 | 46 | 36 | 42 | 32 | 40 | 30 | 40 | 31 | 34 | 26 |
| 10 | 80 | 60 | 70 | 50 | 60 | 47 | 50 | 39 | 55 | 42 | 50 | 38 |
| 16 | 100 | 75 | 85 | 60 | 80 | 60 | 75 | 55 | 80 | 60 | 70 | 55 |
| 25 | 140 | 105 | 115 | 85 | 100 | 80 | 90 | 70 | 100 | 75 | 85 | 65 |
| 35 | 170 | 130 | 135 | 100 | 125 | 95 | 115 | 85 | 125 | 95 | 100 | 75 |
| 50 | 215 | 165 | 185 | 140 | 170 | 130 | 150 | 120 | 160 | 125 | 135 | 105 |
| 70 | 270 | 210 | 225 | 175 | 210 | 165 | 185 | 140 | 195 | 150 | 175 | 135 |
| 95 | 330 | 255 | 275 | 215 | 255 | 200 | 225 | 175 | 245 | 190 | 215 | 165 |
| Допустимый длительный ток для проводов с резиновой и ПВХ изоляцией |

*Примечание: Cu — медная жила; Аl — алюминиевая жила.*

Таблица 5.2 **Допустимый длительный ток для кабелей с резиновой, ПВХ или резиновой оболочкой**

|  |  |
| --- | --- |
| Сечение жилы,мм2 | Ток для проводов и кабелей, А |
| одножильных | двухжильных | трехжильных |
| в воздухе | в воздухе | в земле | в воздухе | в земле |
| Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL |
| 1.5 | 23 | - | 19 | - | 33 | - | 19 | - | 27 | - |
| 2.5 | 30 | 23 | 27 | 21 | 21 | 34 | 25 | 19 | 38 | 29 |
| 4 | 41 | 31 | 38 | 29 | 55 | 42 | 35 | 27 | 49 | 38 |
| 6 | 50 | 38 | 50 | 38 | 70 | 55 | 42 | 32 | 60 | 46 |
| 10 | 80 | 60 | 70 | 55 | 105 | 80 | 55 | 42 | 90 | 70 |
| 16 | 100 | 75 | 90 | 70 | 135 | 105 | 75 | 60 | 115 | 90 |
| 25 | 140 | 105 | 115 | 90 | 175 | 135 | 95 | 75 | 150 | 115 |
| 35 | 170 | 130 | 140 | 105 | 210 | 160 | 120 | 90 | 180 | 140 |
| 50 | 215 | 165 | 175 | 135 | 265 | 205 | 145 | 110 | 225 | 175 |
| 70 | 270 | 210 | 215 | 165 | 320 | 245 | 180 | 140 | 275 | 210 |
| 95 | 325 | 250 | 260 | 200 | 385 | 295 | 220 | 170 | 330 | 255 |
| Допустимый длительный ток для кабелей с резиновой, ПВХ или резиновой оболочкой |

*Примечание: Cu — медная жила; AI — алюминиевая жила.*

В табл. 5.1 и 5.2 приведены справочные данные по допустимому длительному току для проводов и кабелей, наиболее часто применяемых для квартир и коттеджей.

В реальных условиях при прокладке внутри помещений допустимый ток проводника зависит от:

- температуры окружающей среды;

- способа прокладки;

- взаимного влияния проложенных рядом электрических цепей.

На основании анализа материалов и рекомендаций по выбору сечения проводников ведущих мировых электротехнических компаний ниже приводится методика учета указанных факторов, которая применима при проектировании многоквартирных жилых зданий и коттеджей.

Учет каждого из этих факторов производится с помощью соответствующих коэффициентов, определяющих их влияние на величину допустимого тока:

Таблица 5.3 **Коэффициент К1 при различных температурах окружающей среды для импортных проводов и кабелей**

|  |  |
| --- | --- |
| Температура окружающей среды, С | *К1* при изоляции из |
| резины | поливинилхлорида | полиэтилена |
| 10 | 1,29 | 1,22(1,17) | 1,15 |
| 15 | 1,22 | 1,17(1,12) | 1,12 |
| 20 | 1,15 | 1,12 (1,06) | 1,08 |
| 25 | 1,07 | 1,07 (1,0) | 1,04 |
| 30 | 1,0 | 1,0(0,94) | 1,0 |
| 35 | 0,93 | 0,93 (0,87) | 0,96 |
| 40 | 0,82 | 0,87 (0,79) | 0,91 |
| 45 | 0,71 | 0,79 (0,71) | 0,87 |
| 50 | 0,58 | 0,71 (0,61) | 0,82 |
| 55 | - | 0,61 | 0,76 |
| 60 | - | 0,5 | 0,71 |
| 65 | - | - | 0,65 |
| 70 | - | - | 0,58 |
| Коэффициент К1 при различных температурах окружающей среды для импортных проводов и кабелей |

*Примечание: В скобках даны значения К, в соответствии с ПУЭ (6 изд., перераб. и доп. 1998 г., гл. 1.3, табл. 1.3.3)*

К1 - учитывает влияние температуры окружающей среды отличной от 300С, в зависимости от типа изоляции (табл. 5.3);

К2 - учитывает влияние способа прокладки;

К3 - учитывает взаимное влияние проложенных рядом кабелей (расстояние между кабелями менее двух диаметров большего из двух кабелей) (табл. 5.4).

Коэффициент К2 при различных способах прокладки приведен ниже:

***Скрытая прокладка***:

Кабели, уложенные непосредственно в термоизолирующем материале (например, в штукатурке) . . . .0,7

Кабели в трубах, проложенные в термоизолирующем материале . . . .0,77

***Открытая прокладка***:

Многожильные кабели . . . .0,9

Кабели в строительных углублениях (нишах) и закрытых кабельных каналах  . . . .0,95

Кабели на поверхности потолков  . . . .0,95

Во всех остальных случаях . . . .1,0

Таблица 5.4 **Коэффициент К3 для группы проводников, уложенных в один слой** 1)

|  |  |
| --- | --- |
| Расположениепроводников | К3 при числе лежащих рядом цепей или многожильных кабелей |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 12 | 16 |
| Замоноличенные в стене | 1 | 0,8 | 0,7 | 0,65 | 0,6 | 0,57 | 0,54 | 0,52 | 0,5 | 0,45 | 0,41 |
| Однослойные прокладки по стенам, или полам, или в неперфорированных лотках | 1 | 0,85 | 0,79 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,71 | 0,7 | 0,7 |   |
| Однослойная прокладка в потолках | 0,95 | 0,81 | 0,72 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,63 | 0,62 | 0,61 | 0,61 | - |
| Однослойная прокладка на горизонтальных или перфорированных лотках или на вертикальных лотках | 1 | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,72 |   |
| Однослойная прокладка на кабельных полках, скобах и т.п. | 1 | 0,87 | 0,82 | 0,8 | 0,8 | 0,79 | 0,79 | 0,78 | 0,78 | 0,78 |   |
| Коэффициент К3 для группы проводников, уложенных в один слой |

*1) При многослойной прокладке коэффициент Аз уменьшается:*

*-              при двух слоях К3=0,8K3;*

*-              при трех слоях К3=0,73К3;*

*-              при четырех или пяти слоях K3=0,7K3.*

С учетом этих коэффициентов допустимый ток проводника:



где Iд.н. - номинальный допустимый ток проводника по справочным или данным производителя (при температуре окружающей среды +30 oС, или +25 oС для отечественных кабелей), А.

С учетом воздействия различных факторов (температура окружающей среды, способ или вид прокладки, взаимное влияние рядом проложенных цепей), проводник выбирается из условия:



где Iн.а - номинальный ток автоматического выключателя, А.

Таким образом, сечение проводника увеличивается по сравнению с тем, которое могло быть выбрано по Ip max без учета вышеуказанных факторов.

***Пример***

Дано:

Расчетный номинальный ток нагрузки Ip max =70А.

Температура окружающей среды +35 oС.

Прокладка - скрытая в стене.

Число лежащих рядом кабелей 5.

Кабель с ПВХ изоляцией.

Номинальный допустимый ток проводника Iд.н:

- для кабеля отечественного производства приводится в каталогах при температуре окружающей среды tо.с = +25 oС и допустимой температуре жилы в номинальном режиме tж = 65 оС.

- для кабеля импортного производства - в каталогах при tо.с = +30 оС и tж = 70 оС.

Исходя из этого по табл. 5.3 находим:

- для отечественного кабеля К1 = 0,87;

- для импортного кабеля К1 = 0,93.

Определяем:

К2 = 0,7 - по приведенным выше данным;

К3 = 0,6 - по табл. 5.4.

Допустимый номинальный ток проводника:



- для отечественного кабеля:



- для импортного кабеля:



Выбираем сечение: 3x95+1x70.

Для медного кабеля такого сечения Iд.н = 215 А.

При выборе сечения жил кабеля, прокладываемого в земле, допустимый ток определяется с помощью следующих коэффициентов, учитывающих:

B1 - температуру почвы, отличную от 200С (табл. 5.5.);

B2 - влияние способа прокладки:

B2=1 - при прокладке непосредственно в земле;

B2=0,8 - при прокладке в земле в керамических трубах и в каналах;

B3 - взаимное влияние проложенных рядом кабелей (расстояние между кабелями менее двух диаметров большего из двух кабелей);

B4 - влияние свойств и состояния почвы, определяющих ее теплопроводность.

Коэффициент B3, учитывающий взаимное влияние расположенных рядом кабелей при прокладке в один слой приведен ниже:

Число кабелей . . . . .1  2   3  4   5  6  7   8   9   12  16  20

B3 . . . .1,0   0,8   0,7   0,65  0,6  0,57   0,54   0,52  0,5   0,45  0,41  0,3

Таблица 5.5 **Значение коэффициента B1, учитывающего температуру почвы**

|  |  |
| --- | --- |
| Температура почвы, °С | B1 при изоляции кабеля |
| поливинилхлорид | полиэтилен |
| 10 | 1,1 | 1,07 |
| 15 | 1,05 | 1,04 |
| 20 | 1,0 | 1,0 |
| 25 | 0,95 | 0,96 |
| 30 | 0,89 | 0,93 |
| 35 | 0,84 | 0,89 |
| 40 | 0,77 | 0,85 |
| 45 | 0,71 | 0,80 |
| 50 | 0,63 | 0,76 |
| Значение коэффициента B1, учитывающего температуру почвы |

При многослойной прокладке коэффициент B3 уменьшается:

- при двух слоях B'3=0,8B3;

- при трех слоях B'3=0,73B3;

- при четырех и пяти слоях B'3=0,73B3.

Коэффициент B4, учитывающий свойства и состояние почвы, приведен ниже:

Почва:

Насыщенная влагой / мокрая… 1,21

Влажная … 1,13

Сырая…  1,05

Сухая… 1,0

Очень сухая…  0,86

**5.3. Проверка проводников по потере напряжения**

Падение напряжения в системе электроснабжения потребителя определяется формулой



где U - падение напряжения в системе электроснабжения;

P и Q - активная и реактивная составляющие мощности, передаваемой потребителю;

R и X- активное и индуктивное сопротивления сети.

Действительная часть формулы



называется потерей напряжения и характеризует изменение величины напряжения.

Мнимая часть формулы



характеризует фазовый сдвиг напряжения у потребителя

относительно напряжения источника питания.

При проектировании электроснабжения и электрооборудования жилища важна величина действительной части, т.е. потеря напряжения.

Проверка выбранных проводников по потере напряжения из условия обеспечения необходимых (регламентированных стандартами) уровней напряжения у самых удаленных от источника питания потребителей осуществляется следующим образом.

Выполняется расчет потери напряжения (%) по формулам:

- для однофазной сети:



- для симметричной трехфазной сети:



где Uн - номинальное напряжение, В (220 В трехфазной сети);

R - активное сопротивление проводника, Ом;

Х - индуктивное сопротивление проводника, Ом;

cos ф - коэффициент мощности нагрузки;

Ip max- максимальный расчетный ток нагрузки, А;

U - потеря напряжения, % от номинального.

Без учета индуктивного сопротивления линии на потерю напряжения, как правило, рассчитываются:

- сети постоянного тока;

- линии сети переменного тока, для которых коэффициент мощности cos ф = 1;

- сети, выполненные проводами внутри зданий или кабелями, если их сечения не превосходят указанных в табл. 5.6 значений.

Индуктивным сопротивлением проводников сечением менее 50 мм2 можно пренебречь, т.е. Х = 0. При отсутствии какой-либо другой информации величину Хможно принимать равной 8\*10-5 Ом/м.

Активное сопротивление проводников (Ом) определяется по одной из известных формул



где р - удельное сопротивление проводника, Ом\*мм2 / м;

Y - удельная проводимость проводника, м / Ом \* мм2;

S - сечение проводника, мм2; l - длина проводника.

Значение удельного сопротивления и удельной проводимости для:

- медных проводников рм =0,0189 Ом\*мм2 / м; ум = 53 м / Ом\*мм2;

- алюминиевых проводников ра =0,0315 Ом\*мм2 / м; уа = 31,7 м / Ом\*мм2.

Таблица 5.6 **Максимальные сечения проводов и кабелей, для которых допустимо вести расчет потерь напряжения без учета индуктивного сопротивления проводов (для сети переменного тока частотой 50 Гц)**

|  |  |
| --- | --- |
| Кабели, провода | Максимальные сечения проводов и кабелей, мм2, при cos ф |
| 0,95 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,7 |
| Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL | Cu | АL |
| Кабели до 1 кВ | 70 | 120 | 50 | 95 | 35 | 70 | 35 | 50 | 25 | 50 | 25 | 35 |
| Провода в трубах | 50 | 95 | 35 | 50 | 35 | 50 | 25 | 35 | 16 | 25 | 16 | 25 |
| Провода на роликах | 25 | 35 | 16 | 25 | 10 | 16 | 10 | 10 | 6 | 10 | 6 | 10 |
| Провода на изоляторах | 16 | 25 | 10 | 16 | 10 | 16 | 6 | 10 | 6 | 10 | 6 | 10 |
| Максимальные сечения проводов и кабелей, для которых допустимо вести расчет потерь напряжения без учета индуктивного сопротивления проводов (для сети переменного тока частотой 50 Гц) |

*Примечание: Cu — медные провода и кабели; АL — алюминиевые провода и кабели*

В табл. 5.7 приведены удельные активные сопротивления медных и алюминиевых проводов и кабелей, номенклатура которых по сечению токопроводящей жилы наиболее часто используется в жилищном строительстве.

В табл. 5.8 приведены удельные индуктивные сопротивления воздушных линий, с помощью которых осуществляется, как правило, электроснабжение коттеджей.

Допустимая величина падения напряжения определяется по формуле



где Uпд - предельно допустимые потери напряжения в питающей приемник цепи, %;

105 - напряжение холостого хода на вторичной стороне питающего трансформатора, %;

Uтр - падение напряжения в трансформаторе, питающем данный объект, %;

Umin д - минимально допустимое напряжение на зажимах электроприемника, %.

Таблица 5.7 **Активные сопротивления проводов и кабелей, Ом/м**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сечение токоведущей жилы, мм2 | Медные провода и кабели | Алюминиевые провода и кабели |
| 1 | 0,0189 | - |
| 1,5 | 0,0126 | - |
| 2,5 | 0,00755 | 0,0126 |
| 4 | 0,00465 | 0,00790 |
| 6 | 0,00316 | 0,00526 |
| 10 | 0,00184 | 0,00316 |
| 16 | 0,00120 | 0,00198 |
| 25 | 0,00074 | 0,00128 |
| 35 | 0,00054 | 0,00092 |
| 50 | 0,00039 | 0,00064 |
| 70 | 0,00028 | 0,00046 |
| 95 | 0,00020 | 0,00034 |
| Активные сопротивления проводов и кабелей, Ом/м |

Таблица 5.8 **Индуктивные сопротивления воздушных линий**

|  |  |
| --- | --- |
| Среднее геометрическое расстояние между проводами, мм | Индуктивное сопротивление, Ом/м, при сечении проводов, мм2 |
| 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 |
| Медные провода |
| 400 | 0,371 | 0,355 | 0,333 | 0,319 | 0,308 | 0,297 | 0,283 | 0,274 | - | - | - |
| 600 | 0,397 | 0,381 | 0,358 | 0,345 | 0,336 | 0,325 | 0,309 | 0,300 | 0,292 | 0,287 | 0,280 |
| 800 | 0,415 | 0,399 | 0,377 | 0,363 | 0,352 | 0,341 | 0,327 | 0,318 | 0,310 | 0,305 | 0,298 |
| 1000 | 0,429 | 0,413 | 0,391 | 0,377 | 0,366 | 0,355 | 0,341 | 0,332 | 0,324 | 0,319 | 0,313 |
| 1250 | 0,443 | 0,427 | 0,405 | 0,391 | 0,380 | 0,369 | 0,355 | 0,346 | 0,338 | 0,333 | 0,327 |
| 1500 | - | 0,438 | 0,416 | 0,402 | 0,391 | 0,380 | 0,366 | 0,357 | 0,349 | 0,344 | 0,338 |
| 2000 | - | 0,457 | 0,435 | 0,421 | 0,410 | 0,398 | 0,385 | 0,376 | 0,368 | 0,363 | 0,357 |
| 2500 | - | - | 0,449 | 0,435 | 0,424 | 0,413 | 0,399 | 0,390 | 0,382 | 0,377 | 0,371 |
| 3000 | - | - | 0,460 | 0,446 | 0,435 | 0,423 | 0,410 | 0,401 | 0,393 | 0,388 | 0,382 |
| Алюминиевые провода |
| 600 | - | - | 0,358 | 0,345 | 0,336 | 0,325 | 0,315 | 0,303 | 0,297 | 0,288 | 0,279 |
| 800 | - | - | 0,377 | 0,363 | 0,352 | 0,341 | 0,331 | 0,319 | 0,313 | 0,305 | 0,298 |
| 1000 | - | - | 0,391 | 0,377 | 0,366 | 0,355 | 0,345 | 0,334 | 0,327 | 0,319 | 0,311 |
| 1250 | - | - | 0,405 | 0,391 | 0,380 | 0,369 | 0,359 | 0,347 | 0,341 | 0,333 | 0,328 |
| 1500 | - | - | - | 0,402 | 0,391 | 0,380 | 0,370 | 0,358 | 0,352 | 0,344 | 0,339 |
| 2000 | - | - | - | 0,421 | 0,410 | 0,398 | 0,388 | 0,377 | 0,371 | 0,363 | 0,355 |
| Сталеалюминевые провода |
| 2000 | - | - | - | - | 0,403 | 0,392 | 0,382 | 0,371 | 0,365 | 0,358 | - |
| 2500 | - | - | - | - | 0,417 | 0,406 | 0,396 | 0,385 | 0,379 | 0,272 | - |
| 3000 | - | - | - | - | 0,429 | 0,418 | 0,408 | 0,397 | 0,391 | 0,384 | 0,377 |

Таблица 5.9 **Отклонение напряжения на выводах приемников электроэнергии, %**

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование потребителя электроэнергии | Отклонение напряжения U |
| нормально допустимое | предельно допустимое |
| Двигатели и аппараты управления | +5 | ±10 |
|   | Umin = 95 | Umin = 90 |
| Источники света | +5 | - |
|   | Umin = 95 | - |
| Отклонение напряжения на выводах приемников электроэнергии, % |

Допустимые отклонения напряжения у приемников электроэнергии приведены в табл. 5.9. Затем проверяется выполнение условия:



Для проверки проводников по потере напряжения можно также использовать таблицы удельных потерь напряжения (табл. 5.10 - 5.13), которые составлены на основании данных, приведенных в Справочнике по расчету проводов и кабелей и адаптированных к рассматриваемой тематике и к действующим в настоящее время нормам и правилам.

В указанных таблицах приведены удельные потери напряжения для электропроводок, воздушных и кабельных линий в зависимости от величины коэффициента мощности. Для проводов и кабелей из цветного металла эти потери выражены в процентах на 1 кВт\*км в зависимости от напряжения линии.

Потеря напряжения в линии при заданном сечении проводов и кабелей из цветных металлов определяется по формуле



где Ма - сумма произведений активных нагрузок на длины участков линии, кВт\*км;

Um6 - табличное значение удельной величины потери напряжения в процентах на 1 кВт\*км. Определение сечения проводов по заданной величине потери напряжения производится следующим образом. Определяется расчетное значение Umб по формуле:



и по соответствующей таблице подбирается сечение провода с ближайшим меньшим значением удельной потери напряжения.

Таблица 5.10 **Потеря напряжения в двухпроводной линии переменного тока при cosф=1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|   | Номинальное сечение, мм2 | Потеря напряжения, % / кВ\*км, при номинальном напряжении, В |
| 220 | 127 | 42 | 36 |
| Медь | 1 | 77,7 | 233,0 | 1,63 | 2,90 |
| 1,5 | 51,7 | 155,0 | 1,08 | 1,93 |
| 2,5 | 31,1 | 93,3 | 0,653 | 1,16 |
| 4 | 19,2 | 57,9 | 0,430 | 0,717 |
| 6 | 12,7 | 38,1 | 0,265 | 0,472 |
| 10 | 7,61 | 22,8 | 0,160 | 0,284 |
| 16 | 4,96 | 14,9 | 0,104 | 0,185 |
| 25 | 3,06 | 9,18 | 0,0642 | 0,114 |
| 35 | 2,23 | 6,69 | 0,0468 | 0,0833 |
| 50 | 1,61 | 4,83 | 0,338 | 0,0602 |
| 70 | 1,16 | 3,48 | 0,0243 | 0,0432 |
| 95 | 0,827 | 2,48 | 0,0173 | 0,0309 |
| Алюминий | 2,5 | 52,8 | 158,0 | 1,11 | 1,97 |
| 4 | 33,1 | 99,3 | 0,693 | 1,23 |
| 6 | 22,0 | 66,0 | 0,462 | 0,823 |
| 10 | 13,2 | 39,6 | 0,277 | 0,494 |
| 16 | 8,18 | 24,5 | 0,172 | 0,306 |
| 25 | 5,29 | 15,9 | 0,111 | 0,198 |
| 35 | 3,80 | 11,4 | 0,0798 | 0,142 |
| 50 | 2,64 | 7,92 | 0,0555 | 0,0987 |
| 70 | 1,90 | 5,70 | 0,0400 | 0,0710 |
| 95 | 1,45 | 4,35 | 0,0236 | 0,0416 |
| Потеря напряжения в двухпроводной линии переменного тока при cosф=1 |

Таблица 5.11 **Потеря напряжения в трехфазной линии 380 В, выполненной изолированными проводами**

|  |  |
| --- | --- |
| Сечение провода,мм2 | Потеря напряжения, % / кВ\*км, при коэффициенте мощности |
| 0,7 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,88 | 0,90 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 1,00 |
| *Медь* |
| 1 | 13,2 | 13,2 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | 13,0 |
| 1.5 | 8,85 | 8,83 | 8,81 | 8,80 | 8,77 | 8,76 | 8,75 | 8,74 | 8,73 | 8,72 | 8,65 |
| 2.5 | 5,39 | 5,37 | 5,35 | 5,33 | 5,32 | 5,31 | 5,31 | 5,30 | 5,28 | 5,27 | 5,21 |
| 4 | 3,39 | 3,37 | 3,36 | 3,34 | 3,33 | 3,32 | 3,31 | 3,30 | 3,29 | 3,28 | 3,22 |
| 6 | 2,29 | 2,27 | 2,25 | 2,23 | 2,22 | 2,21 | 2,21 | 2,20 | 2,19 | 2,18 | 2,12 |
| 10 | 1,43 | 1,41 | 1,40 | 1,38 | 1,37 | 1,37 | 1,36 | 1,35 | 1,34 | 1,33 | 1,28 |
| 16 | 0,993 | 0,965 | 0,958 | 0,941 | 0,931 | 0,924 | 0,916 | 0,908 | 0,899 | 0,887 | 0,831 |
| 25 | 0,664 | 0,647 | 0,631 | 0,616 | 0,606 | 0,600 | 0,593 | 0,585 | 0,577 | 0,566 | 0,512 |
| 35 | 0,527 | 0,510 | 0,494 | 0,478 | 0,469 | 0,462 | 0,455 | 0,448 | 0,439 | 0,428 | 0,374 |
| 50 | 0,415 | 0,403 | 0,388 | 0,373 | 0,364 | 0,358 | 0,351 | 0,344 | 0,336 | 0,326 | 0,270 |
| 70 | 0,365 | 0,346 | 0,328 | 0,310 | 0,299 | 0,292 | 0,284 | 0,275 | 0,266 | 0,254 | 0,196 |
| 95 | 0,301 | 0,283 | 0,265 | 0,249 | 0,238 | 0,231 | 0,223 | 0,215 | 0,206 | 0,194 | 0,138 |
| *Алюминий* |
| 2,5 | 9,03 | 9,02 | 9,00 | 8,98 | 8,97 | 8,96 | 8,95 | 8,95 | 8,93 | 8,92 | 8,85 |
| 4 | 5,71 | 5,69 | 5,67 | 5,65 | 5,64 | 5,63 | 5,62 | 5,61 | 5,60 | 5,59 | 5,54 |
| 6 | 3,86 | 3,84 | 3,82 | 3,80 | 3,79 | 3,78 | 3,78 | 3,77 | 3,76 | 3,75 | 3,69 |
| 10 | 2,37 | 2,35 | 2,34 | 2,32 | 2,31 | 2,31 | 2,30 | 2,29 | 2,28 | 2,27 | 2,22 |
| 16 | 1,53 | 1,51 | 1,50 | 1,48 | 1,47 | 1,46 | 1,46 | 1,45 | 1,44 | 1,43 | 1,37 |
| 25 | 1,04 | 1,02 | 1,01 | 0,990 | 0,980 | 0,974 | 0,967 | 0,959 | 0,951 | 0,940 | 0,886 |
| 35 | 0,790 | 0,773 | 0,757 | 0,741 | 0,732 | 0,725 | 0,718 | 0,711 | 0,702 | 0,691 | 0,637 |
| 50 | 0,588 | 0,573 | 0,558 | 0,543 | 0,534 | 0,528 | 0,521 | 0,514 | 0,506 | 0,496 | 0,443 |
| 70 | 0,488 | 0,469 | 0,451 | 0,433 | 0,422 | 0,415 | 0,407 | 0,398 | 0,389 | 0,377 | 0,319 |
| 95 | 0,398 | 0,380 | 0,362 | 0,346 | 0,335 | 0,328 | 0,320 | 0,312 | 0,303 | 0,291 | 0,235 |
| Потеря напряжения в трехфазной линии 380 В, выполненной изолированными проводами |

Таблица 5.12 **Потеря напряжения в трехфазной кабельной линии 380 В**

|  |  |
| --- | --- |
| Номинальное сечение, мм2 | Потеря напряжения, %/кВ\*км, при коэффициенте мощности |
| 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 1,00 |
| *Медь* |
| 1 | 13,0 | 13,0 | 13,0 | 13,0 | 13,0 | 13,0 | 13,0 |
| 1.5 | 8,72 | 8,71 | 8,70 | 8,69 | 8,68 | 8,67 | 8,65 |
| 2.5 | 5,28 | 5,27 | 5,26 | 5,25 | 5,24 | 5,23 | 5,21 |
| 4 | 3,29 | 3,28 | 3,27 | 3,26 | 3,25 | 3,25 | 3,22 |
| 6 | 2,18 | 2,17 | 2,16 | 2,16 | 2,15 | 2,14 | 2,12 |
| 10 | 1,33 | 1,32 | 1,32 | 1,31 | 1,30 | 1,30 | 1,26 |
| 16 | 0,879 | 0,872 | 0,866 | 0,860 | 0,853 | 0,846 | 0,831 |
| 25 | 0,599 | 0,552 | 0,546 | 0,540 | 0,534 | 0,527 | 0,512 |
| 35 | 0,419 | 0,413 | 0,407 | 0,401 | 0,395 | 0,389 | 0,374 |
| 50 | 0,314 | 0,308 | 0,302 | 0,297 | 0,291 | 0,284 | 0,270 |
| 70 | 0,240 | 0,233 | 0,228 | 0,222 | 0,216 | 0,210 | 0,196 |
| 95 | 0,181 | 0,175 | 0,169 | 0,164 | 0,158 | 0,152 | 0,138 |
| *Алюминий* |
| 2,5 | 8,92 | 8,91 | 8,90 | 8,89 | 8,88 | 8,87 | 8,85 |
| 4 | 5,61 | 5,60 | 5,59 | 5,58 | 5,57 | 5,56 | 5,54 |
| 6 | 3,75 | 3,74 | 3,73 | 3,73 | 3,72 | 3,71 | 3,69 |
| 10 | 2,27 | 2,26 | 2,26 | 2,25 | 2,24 | 2,24 | 2,22 |
| 16 | 1,42 | 1,42 | 1,41 | 1,40 | 1,39 | 1,39 | 1,37 |
| 25 | 0,933 | 0,926 | 0,920 | 0,914 | 0,908 | 0,901 | 0,886 |
| 35 | 0,682 | 0,676 | 0,670 | 0,664 | 0,658 | 0,652 | 0,637 |
| 50 | 0,487 | 0,481 | 0,475 | 0,470 | 0,464 | 0,457 | 0,443 |
| 70 | 0,363 | 0,356 | 0,351 | 0,345 | 0,339 | 0,333 | 0,319 |
| 95 | 0,277 | 0,272 | 0,266 | 0,261 | 0,255 | 0,249 | 0,235 |
| Потеря напряжения в трехфазной кабельной линии 380 В |

Таблица 5.13 **Потеря напряжения в трехфазной воздушной линии 380 В**

|  |  |
| --- | --- |
| Сечение провода, мм2 | Потеря напряжения, % / кВ\*км, при коэффициенте мощности |
| 0,7 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,88 | 0,90 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 1,00 |
| *Медь* |
| 4 | 3,51 | 3,47 | 3,43 | 3,40 | 3,37 | 3,36 | 3,34 | 3,33 | 3,30 | 3,28 | 3,22 |
| 6 | 2,40 | 2,36 | 2,33 | 2,29 | 2,27 | 2,25 | 2,24 | 2,22 | 2,20 | 2,18 | 2,12 |
| 10 | 1,55 | 1,51 | 1,48 | 1,44 | 1,42 | 1,41 | 1,39 | 1,38 | 1,36 | 1,33 | 1,28 |
| 16 | 1,08 | 1,05 | 1,02 | 0,985 | 0,965 | 0,951 | 0,937 | 0,921 | 0,904 | 0,893 | 0,831 |
| 25 | 0,756 | 0,723 | 0,692 | 0,660 | 0,641 | 0,628 | 0,614 | 0,599 | 0,582 | 0,572 | 0,512 |
| 35 | 0,610 | 0,578 | 0,547 | 0,517 | 0,498 | 0,486 | 0,472 | 0,458 | 0,411 | 0,432 | 0,374 |
| 50 | 0,498 | 0,467 | 0,438 | 0,409 | 0,390 | 0,378 | 0,365 | 0,351 | 0,335 | 0,326 | 0,270 |
| 70 | 0,414 | 0,384 | 0,356 | 0,328 | 0,310 | 0,298 | 0,286 | 0,272 | 0,257 | 0,248 | 0,196 |
| *Алюминий* |
| 16 | 1,62 | 1,59 | 1,55 | 1,52 | 1,50 | 1,49 | 1,47 | 1,46 | 1,44 | 1,42 | 1,37 |
| 25 | 1,13 | 1,10 | 1,07 | 1,03 | 1,02 | 1,00 | 0,988 | 0,973 | 0,956 | 0,935 | 0,886 |
| 35 | 0,873 | 0,841 | 0,811 | 0,781 | 0,762 | 0,749 | 0,736 | 0,721 | 0,705 | 0,684 | 0,637 |
| 50 | 0,671 | 0,641 | 0,611 | 0,582 | 0,564 | 0,552 | 0,539 | 0,524 | 0,509 | 0,489 | 0,443 |
| 70 | 0,539 | 0,509 | 0,481 | 0,453 | 0,435 | 0,423 | 0,411 | 0,397 | 0,382 | 0,362 | 0,319 |
| 95 | 0,450 | 0,421 | 0,393 | 0,366 | 0,349 | 0,337 | 0,325 | 0,312 | 0,297 | 0,278 | 0,235 |
| Потеря напряжения в трехфазной воздушной линии 380 В |

**5.4. Проверка кабелей по термической устойчивости при коротких замыканиях**

Как правило, такую проверку выполняют только для кабелей, подключаемых к главному (или вводному) распределительному щиту.

При коротких замыканиях температура нагрева проводника не должна превышать предельно допустимой для изоляции проводника температуры.

Сечение проводника, соответствующее этому условию, определяется по формуле



Величина коэффициентов К2, рассчитанных в соответствии с температурами mах и нач, указанными в ПУЭ3, приведены в табл. 5.14.

Выбранное сечение должно удовлетворять условию Sд.н. >= Sкд,

где Sд.н.- сечение проводника, соответствующее длительно допустимому току.

Таблица 5.14 **Коэффициент К2 для проводников из меди и алюминия**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Изоляцияпроводника | Температура, С | К2 для проводника | Примечание |
| Тначальная | Т конечная при КЗ | медь | алюминий |
| Резина | 65 | 150 | 2 | 1,98 | По данным ПУЭ |
| 60 | 160 | 1,85 | 1,83 | По данным иностранных фирм |
| ПВХ | 65 | 150 | 2 | 1,98 |   |
| 70 | 160 | 1,97 | 1,95 |   |
| Полиэтилен | 65 | 120 | 2,44 | 2,23 |   |
| 70 | 120 | 2,56 | 2,54 |   |
| Вулканизированныйсшитый полиэтилен | 90 | 250 | 1,8 | 1,57 |   |
| - | - | - | - |   |
| Бумажная изоляция | 80 | 200 | 1,76 | 1,74 |   |
| 80 | 160 | 2,1 | 2,08 |   |
| Коэффициент К2 для проводников из меди и алюминия |

**5.5. Рекомендуемые марки проводов и кабелей**

В ПУЭ (7-е изд., раздел 7, п. 7.1.34) для внутренних электропроводок зданий предписывается использование проводов и кабелей с медными жилами. Поэтому ниже рекомендуются марки проводов и кабелей для применения в жилых зданиях только с медными жилами.

В табл. 5.15 приведены основные данные наиболее употребительных силовых кабелей напряжением до 1 кВ, которые используются для внутренних электропроводок. Так как приведенные марки кабелей могут быть использованы в помещениях любой категории по электробезопасности (сухие, влажные, сырые, особо сырые), то в таблице указаны также возможные способы их прокладки.

В табл. 5.16 приведены основные данные и рекомендации по применению наиболее употребительных проводов.

Для внешних электропроводок в коттеджах используются кабели и провода как с медными, так и алюминиевыми жилами. К внешним электропроводкам относятся: ответвления от воздушных линий, вводы в дома и электрические сети на приусадебных участках. Здесь находят применение как неизолированные провода (например, марки А) сечением не менее 16 мм2, так и кабели, часть из которых учтена в табл. 5.15.

3 Правила устройства электроустановок. М, 1998. 6-е изд. перераб. и доп. (п.п. 1.3.10 и 1.4.16)

Таблица 5.15 **Основные данные и рекомендации по прокладке наиболее употребительных силовых кабелей с медными жилами напряжением до 1 кВ для внутренних электропроводок**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип,маркакабеля | Краткаяхарактеристика | Изоляция | Оболочка | Числожил | Сечениежил,мм2 | Напря жение, В | Рекомендации по способам прокладки | Примечание |
| ВВГ |   | Поливинилхлоридная | Поливинилхлоридная | 1 | 1,5-50 | 660,1000 | Открыто - по конструкциям и в коробах Скрыто - в трубах | Применяется во внешних электропроводках: ответвления от ВЛ на опорах по территории |
| 2 | 1,5-50 |
| 3 | 1,5-240 |
| 4 | 1,5-185 |
| 5 | 1,5-25 |
| ВВГнг | Пониженнойгорючести | Поливинилхлоридная | Поливинилхлоридная | 2 | 1,5-10 | 660 | Открыто - по конструкциям и в коробах Скрыто - в трубах |   |
| 4 | 1,5-10 |
| ВВГ-П | То же, плоский | Поливинилхлоридная | Поливинилхлоридная | 2 | 1,5-16 | 660 |
| 3 | 1,5-4 |
| ПВГ |   | Полиэтиленовая | Поливинилхлоридная | 1 | 1,5-10 | 660 | Открыто - по конструкциям и в коробах Скрыто - в трубах | Применяется во внешних электропроводках - на опорах по территории |
| 2 | 1,5-10 |
| 3 | 1,5-10 |
| 4 | 1,5-10 |
| NYM | С промежуточной оболочкой из резины | Поливинилхлоридная | Поливинилхлоридная | 2 | 1,5-6 | 300,500 | Открыто - по конструкциям и в коробах Скрыто - в трубах |   |
| 3 | 1,5-10 |
| 4 | 1,5-16 |
| 5 | 1,5-25 |
| ВРГ |   | Резиновая | Поливинилхлоридная | 1 |   | 660 |   | Применяется во внешних электропроводках - ответвления от ВЛ на опорах по территории |
| 2 |   |
| 3 |   |
| 4 |   |
| НРГ | Оболочка не горючая | Резиновая | Резиновая | 1 | 1,5-10 | 660 |   | Применяется во внешних электропроводках - ответвления от ВЛ на опорах по территории |
| 2 | 1,5-10 |
| 3 | 1,5-10 |
| 4 | 1,5-10 |
| Основные данные и рекомендации по прокладке наиболее употребительных силовых кабелей с медными жилами напряжением до 1 кВ для внутренних электропроводок |

Таблица 5.16 **Основные данные и рекомендации по применению наиболее употребительных проводов с медными жилами напряжением до 1 кВ для внутренних электропроводок**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип,маркапровода | Краткаяхарактеристика | Изоляция | Оболочка | Числожил | Сечение жилы, мм2 | Напряжение,В | Рекомендации по применению |
| категорияпомещений | способыпрокладки |
| ПВ1 | Не гибкий | Поливинилхлоридная |   | 1 | 0,5-1016-95 | 450 | Сухие, влажные, сырые, особо сырые | Скрыто -в трубах,в пустотныхканалахнесгораемыхстроительныхконструкций |
| ПВ2 | Нормальнойгибкости | 1 | 2,58-95 |
| ПВ3 | Повышеннойгибкости | 1 | 0,5-95 |
| ПВ4 | Высокойгибкости | 1 | 0,5-10 |
| ППВ | Плоский, с разделительным основанием | Поливинилхлоридная |   | 2 и 3 | 0,75-4,0 | 450 | Сухие,влажные,сырые | Открыто - в коробах |
| ПВС | Гибкий, соскрученнымижилами | Поливинилхлоридная | Поливинилхлоридная | 2, 3, 4, 5 | 1,5-2,5 | 380 | Сухие,влажные,сырые | Открыто - в коробах Скрыто - в трубах |
| ПУНП |   | Пластмассовая | Поливинилхлоридная | 2 и 3 | 1,0-6 | 250 | Сухие,влажные,сырые | Открыто - в коробах Скрыто - под штукатурку |
| ПУГНП | Гибкий | Пластмассовая | Поливинилхлоридная | 2 | 1,5-2,5 | 250 | Сухие,влажные,сырые | Открыто - в коробах Скрыто - под штукатурку |
| ПРТО | Оплетка из хлопчатобумажной пряжи, пропитанная проти- вогнилост- нымсоставом | Резиновая |   | 1, 2 и 3 | 0,75-120 | 660 | Сухие,влажные,сырые | Скрыто - в несгораемых трубах |
| ПР |   | Резиновая | Резиновая | 1 | 1,5-10 | 660 | Сухие,влажные,сырые | Скрыто -в пустотныхканалахнесгораемыхстроительныхконструкций |
| ПРТ | Гибкий |
| ПРН | Не распространяющий горение | Резиновая | Резиновая | 1 | 1,5-120 | 660 | Сухие,влажные,сырые | Скрыто - в пустотных каналах несгораемых строительных конструкций Открыто - на открытом воздухе |
| ПРГН | То же, гибкий | Резиновая | Резиновая | 1 | 1,5-120 | 660 |
| Основные данные и рекомендации по применению наиболее употребительных проводов с медными жилами напряжением до 1 кВ для внутренних электропроводок |