

Изображение: Fgeerik.com

Защищаем кабель правильно!

Что говорит ГОСТ?

От правильного выбора устройства защиты и сечения проводников зависит не только надежная работа подключенных потребителей электроэнергии. Ошибки, допущенные на этом этапе, могут привести к очень серьезным проблемам — вплоть до пожара.

Весьма непростым и спорным вопросом является выбор автоматического выключателя для защиты кабеля от перегрева. Как автомат защитит от перегрева кабель? Очень просто — он не даст пользователю увеличить ток нагрузки выше дозволённого. Цель статьи — перейти от витиеватых формулировок к конкретным цифрам и методике выбора кабелей и автоматических выключателей.

Зачем это нужно? — спросят некоторые читатели. Ведь в интернете множество таблиц! Дело в том, что, не смотря на обилие (переизбыток) информации, до сих пор продолжают споры. Классический пример: многие электрики «старой закалки» утверждают, что автомата с номиналом 25 А вполне хватит для защиты электрической проводки, выполненной кабелем с сечением жилы 2,5 мм². Другие утверждают, что так делать нельзя, и максимум в данном случае — 16 А. Где же истина? Как раз на этом примере и разберем эту тему.

В таком множестве информации разобраться не просто, особенно учитывая, что обычно не учитываются многие факторы:

- тип прокладки;
- тип кабеля;
- максимально допустимая температура кабеля;
- время-токовые характеристики автомата;
- особенности нагрузки.

Чтобы разобраться с такой сложной темой, нужно обязательно пользоваться нормативно-технической документацией (НТД). Иначе мы останемся на уровне «в интернете написано» и «один блогер сказал».

В статье мы воспользуемся такими документами:

1. ГОСТ Р 50571.4.43-2012. Электроустановки низковольтные. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока.
2. ГОСТ Р 50571.5.52-2011. Электроустановки низковольтные. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки.

www.samelectric.ru

3. ГОСТ 30331.5-95. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока.
4. ГОСТ 31996-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия.
5. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности.
6. ГОСТ IEC 60898-1-2020. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения.
7. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа.

Ну и, конечно, ПУЭ-7 — куда же мы без «Библии электрика»?

Я не буду дословно цитировать пункты и разделы НТД. Буду только указывать пункт, и пересказывать своими словами. Кому нужно — все документы в открытом доступе!

Чтобы статья не разрослась до невероятных размеров, предлагаю ограничиться такими исходными данными:

- мы говорим о стационарной электропроводке с «моножилными» кабелями в жилых зданиях;
- мы говорим о способе прокладки «многожильный кабель в воздухе»;
- мы говорим о кабеле с типом исполнения «нг-LS», который должен применяться в жилых зданиях согласно классу пожарной опасности (ГОСТ 31565-2012, табл. 2);
- мы говорим о розеточных групповых сетях;
- мы говорим о фазном напряжении 220 В и о фазных проводниках;
- мы говорим о «бытовых» модульных автоматических выключателях (ГОСТ IEC 60898-1-2020);
- соединения между жилами сделаны на совесть. Говоря технически, переходным сопротивлением можно пренебречь;
- мы не говорим о таком важном аспекте выбора сечения, как о потерях напряжения;
- мы не рассматриваем специфику работы автоматических выключателей при КЗ. О коротком замыкании, время-токовых характеристиках и селективности я говорил, например, в статье про применение автоматических выключателей с характеристикой «В».

Предупреждаю — будет сложно. Но любое «сложно» состоит из нескольких простых вещей, собранных в систему. Поехали!

Важное предисловие про минимальное сечение кабеля

Некоторые электрики считают, что **сечение токопроводящей жилы (ТПЖ)** зависит только от мощности нагрузки. «Я в эту розетку буду только раз в году елочную гирлянду включать, поэтому

ШВВП 2х0,75 здесь вполне хватит!». «А у меня в коридоре розетка для роутера, проложил на нее самый тонкий провод, который нашел, 10 лет работает без проблем!». Про номинал автомата при этом даже не думают.

Такой подход не только неверен, но и преступен! И дело даже не в установке правильного автомата, а в том, что **минимальное сечение** ТПЖ никак не зависит от мощности нагрузки. Даже если вы клянетесь, что ничего мощнее телефонной зарядки в этой розетке никогда не будет, минимальное сечение медной ТПЖ определено в СП 256.1325800.2016 (Табл. 15.3). Оно не зависит ни от автомата, ни от тока нагрузки, и **равно 2,5 мм²**.

Для осветительных сетей минимальное сечение жилы кабеля равно 1,5 мм².

В СП 256.1325800.2016 (п. 12.6) сказано, что сечение выбирается исходя из расчетного тока нагрузки, и зависит от способа прокладки. В реальной квартирной электропроводке выбор сечений по розеточным линиям невелик — в 99% реальное сечение равно минимальному, то есть 2,5 мм². Ведь пропускная способность стандартной розетки всего 16 А, и нет смысла использовать сечение 4 мм² и больше. Только если речь не идет о мощных розетках на стационарные приборы типа калориферов или электроплит. Но там нередко розетки не используют, а подключают кабель непосредственно на клеммы.

Кабель всегда должен быть «самым сильным звеном» в любой электроустановке.

Что защищает автомат?

Разберемся для начала, что конкретно защищает автомат — кабель, розетки или электроприборы? Обратимся к ГОСТ Р 50571.4.43. В пункте 430.1 указано, что защита рабочих проводников в случаях перегрузки и КЗ производится устройствами защиты от сверхтоков. При этом устройства защиты проводников не обязательно защищают оборудование, соединение с проводниками. Защита производится посредством автоматического отключения. То же самое сказано в ГОСТ 30331.5-95 (п. 431).

Вывод: автоматический выключатель в первую очередь защищает кабель. То, что подключено после кабеля — розетка, удлинитель, елочная гирлянда — защищать тоже нужно, но во вторую очередь. Степень защиты зависит тут только от желания проектировщика.

С другой стороны, пункт 3.1.4 ПУЭ-7 говорит о том, что номинал автоматического выключателя нужно по возможности выбирать наименьшим по расчетным или номинальным токам нагрузки.

Иными словами, номинальный ток АВ должен быть выше номинального тока нагрузки. То есть, если вы уверены, что 200 Вт на данной линии — максимум, никто не запретит поставить на нее автомат 1 А.

Такой автомат прекрасно защитит розетку, а также гирлянду и настольную лампу, но наш кабель (не забываем, минимальное сечение жилы розеточного кабеля — 2,5 мм²) не будет реализовывать свой потенциал в полной мере. Хотя и будет защищен от сверхтоков на 1000%.

Стоит ли покупать мощный джип, чтобы колесить на нем только по идеальным городским улицам со скоростью 5 км/ч?

В СП 256.1325800.2016 (п. 12.6) сказано о двух сторонах этой медали примерно так:

1. Сечение ТПЖ кабеля выбирается исходя из тока нагрузки, также нужно учитывать способ прокладки и потери напряжения.
2. Номинал автоматического выключателя должен выбираться, исходя из допустимого тока кабеля. Который, в свою очередь, зависит от сечения.

Углубимся в тему.

Можно ли устанавливать автомат на 25 А для защиты кабеля 2,5 мм²?

Давайте сузим круг наших изысканий, и разберем практический вопрос: как правильно защитить кабель с сечением ТПЖ 2,5 мм²? Какой номинал автомата с этим справится и при каких условиях?

Допустим, мы определили, что расчетный ток в линии — менее 25 А. Для защиты выбираем автомат с номиналом 25 А (ПУЭ-7, 3.1.4). А что с кабелем, какое сечение тут подойдет?

Предположим, что мы имеем линию, выполненную кабелем ВВГнг-LS с ПВХ изоляцией сечением 3*2,5 мм². В ГОСТ 31996-2012 в таблице 19 для этого сечения определяем **длительно допустимый ток** (допустимую токовую нагрузку). Он составит 27 А для наиболее тяжелых условий прокладки — в воздухе.

Далее, обратимся к таблице 18, где указаны максимальные температуры нагрева жил кабеля.

Режим перегрузки для кабелей, размещенных на воздухе — это такой режим, при котором допу-

Таблица 19. Допустимые токовые нагрузки кабелей с медными жилами с изоляцией из поливинилхлоридных пластикутов и полимерных композиций, не содержащих галогенов

| Номинальное сечение жилы, мм ² | Допустимые токовые нагрузки кабелей, А | | | | | |
|---|--|---------|---------------------|---------|--------------------|---------|
| | Одножильных | | | | Многожильных** | |
| | На постоянном токе | | На переменном токе* | | На переменном токе | |
| | На воздухе | В земле | На воздухе | В земле | На воздухе | В земле |
| 1,5 | 29 | 41 | 22 | 30 | 21 | 27 |
| 2,5 | 37 | 55 | 30 | 39 | 27 | 36 |
| 4 | 50 | 71 | 39 | 50 | 36 | 47 |
| 6 | 63 | 90 | 50 | 62 | 46 | 59 |
| 10 | 86 | 124 | 68 | 83 | 63 | 79 |
| 16 | 113 | 159 | 89 | 107 | 84 | 102 |
| 25 | 153 | 207 | 121 | 137 | 112 | 133 |
| 35 | 187 | 249 | 147 | 163 | 137 | 158 |
| 50 | 227 | 295 | 179 | 194 | 167 | 187 |
| 70 | 286 | 364 | 226 | 237 | 211 | 231 |

Таблица 18. Допустимые температуры нагрева токопроводящих жил кабеля

| Материал изоляции кабелей | Допустимая температура нагрева жил кабеля, °С | | | |
|--|---|---------------------|-----------------------------------|--|
| | Длительно допустимая | В режиме перегрузки | Предельная при коротком замыкании | По условию невозгорания при коротком замыкании |
| Поливинилхлоридный пластик | 70 | 90 | 160/140* | 350 |
| Поливинилхлоридный пластик пониженной пожароопасности | | | | |
| Полимерная композиция, не содержащая галогенов | 70 | 90 | 160/140* | 350 |
| Сшитый полиэтилен, сшитая полимерная композиция, не содержащая галогенов | 90 | 130 | 250 | 400 |

стимая токовая нагрузка умножается на коэффициент 1,16 (ГОСТ 31996-2012, п.10.9).

То есть кабель допускается перегружать всего на 16%. Если превысить это значение, изоляция кабеля будет быстро стареть (то есть, накапливать необратимые негативные изменения) по таким причинам:

1. Тепловые причины. При этом будут ухудшаться диэлектрические свойства вследствие ускорения химических реакций.
2. Механические причины. Неизбежно будут появляться трещины, вызванные усталостью материала.
3. Химические причины будут обусловлены реакциями окисления.

Определяем, что в нашем случае длительно допустимая температура жил кабеля (при токе 27 А) составит 70°C, а в режиме перегрузки (при токе $27 \cdot 1,16 = 31,3$ А) эта температура будет 90°C.

Запомним эту информацию, и перейдем к вопросу согласования тока нагрузки, допустимого тока кабеля и номинального тока автомата.

Необходимость согласованности автоматического выключателя и проводника

Как согласовать токовую нагрузку ТПЖ кабеля и номинал автоматического выключателя? Поставим вопрос более прямо: если длительный допустимый ток кабеля равен 27 А, сможет ли его защитить от перегрева автомат с номиналом 25 А?

Для этого копнем документацию глубже. В ГОСТ 30331.5-95, в пункте 433.2 имеется требование по координации (согласованности) проводников и устройств защиты от перегрузки. В частности, там сказано, что рабочие характеристики устройства защиты должны соответствовать следующим условиям.

Во-первых, расчетный (рабочий) ток цепи (I_b) должен быть меньше или равен номинальному току защитного устройства (I_n), который, в свою очередь, должен быть меньше или равняться длительно допустимому току кабеля (I_z): $I_b \leq I_n \leq I_z$.

Во-вторых, ток, при котором гарантированно сработает автомат за определенное время (I_2), должен быть меньше или равняться длительно допустимому току кабеля (I_z), умноженному на коэффициент 1,45: $I_2 \leq 1,45 I_z$.

Но из ГОСТ ИЕС 60898-1-2020 (табл. 7) мы знаем, что ток I_2 называется условным током расцепления, при котором автомат обязан сработать менее чем за час. То есть, $I_2 = 1,45 I_n$.

Соответственно подставив это значения в формулу выше, получаем: $I_n \leq I_z$.

То есть, удивительным образом коэффициент перегрузки кабеля и коэффициент номинального тока автомата оказались равны 1,45, и взаимно сократились. Совпадение? Не знаю. Но из этого следует, что кабель, у которого длительный допустимый ток не больше номинала автомата, при перегрузке на 45% будет обесточен за время менее 1 часа. Выходит, что при токе $1,45 \cdot 25 = 36,2$ А наш кабель 2,5 мм² с «номиналом» 27 А будет обесточен менее чем за час, если защитить его автоматом 25 А. Хорошо это или плохо?

Не все так просто. Помните, мы выяснили, что кабель начинает необратимо стареть в режиме перегрузки, когда ток превышает номинал I_z на 16%, а температура при этом повышается до 90°C? Значит, ток почти целый час может быть больше положенного на 45% вместо допустимых 16%! Из этого следует логичный вывод — кабель за это время нагреется более, чем на 90°C, а это приведет к его преждевременному старению и деградации.

Это как нас с вами заставить вкалывать по 12 часов без выходных. Долго мы протянем?

Наш вывод подтверждается и в примечании к рассмотренному выше пункту 433.2 из ГОСТ 30331.5-95: *Защита в соответствии с этим пунктом не обеспечивает полной защиты в некоторых случаях, например, от длительного сверхтока, меньшего по значению, чем I_z . При этом предполагается, что электрическая сеть спроектирована так, что небольшие перегрузки с большой продолжительностью будут иметь место не часто.*

Последнее предложение считаю неуместным в серьезной литературе (такой, как ГОСТ) из-за его размытости. «Небольшие» перегрузки это на 1%, или на 16, или на 45%? «Большая» продолжительность — это больше часа или больше суток? «Нечасто» — это раз в сутки или раз в год?

Однако, можно сделать такой вывод применительно к бытовой сети, где количество и мощность подключенных приборов неизвестны: в результате определенной комбинации нагрузок, подключенных к данной линии, может возникнуть сверхток, от которого произойдет недопустимая перегрузка и перегрев кабеля.

Продолжаем искать подтверждения нашему выводу. В ГОСТ 50571.4.43-2012 в пункте 433.1 можно найти формулы, которые были рассмотрены выше. Но в Примечании 1 там сказана примечательная фраза: *Если защита в соответствии с этим пунктом, возможно, не обеспечивает защиту в определенных случаях, например, от длительного сверхтока меньшего, чем I_z , в этих случаях должен рассматриваться вопрос о выборе кабеля с большей площадью поперечного сечения.*



Изображение: Freerik.com

Заметьте: уменьшить номинал автомата (I_n) мы не можем, так как он ограничен снизу расчетным током нагрузки (I_b). Выход предлагается единственный: увеличение площади сечения ТПЖ кабеля.

Можно ограничить мощность подключаемых к штепсельным розеткам потребителей (помните, я приводил в начале статьи пример с елочной гирляндой?). Но для этого нужно круглосуточно стоять и охранять эту розетку. И все равно вы не сможете дать 100% гарантию, что рано или поздно ток в этой линии выйдет за пределы дозволенного.

100% гарантию могут дать только сотрудники отделов продаж.

Вариант, дающий 100% гарантию недопущения перегрузки кабеля — понизить ток автомата. Точнее, выбрать автоматический выключатель с другим номинальным током. В нашем случае — вместо 25 А выбрать 20 или 16 А.

График

Много слов утомляют некоторых читателей, поэтому приведу график, построенный на основе вышеизложенного. Идея графика не моя — он приведен в ГОСТ Р 50571.4.43-2012 (Приложение В).

На графике указано точка 31,3 А — после этого тока изоляцию кабеля ждет неминуемое старение. И чем ток выше, тем быстрее оно будет происходить. Другая точка — 36,2 А показывает, где автомат сработает менее чем за 1 час. В этом интервале значений тока (отмечено красным отрезком длиной около 5 ампер) защита кабеля обеспечена не будет. Что и требовалось доказать.

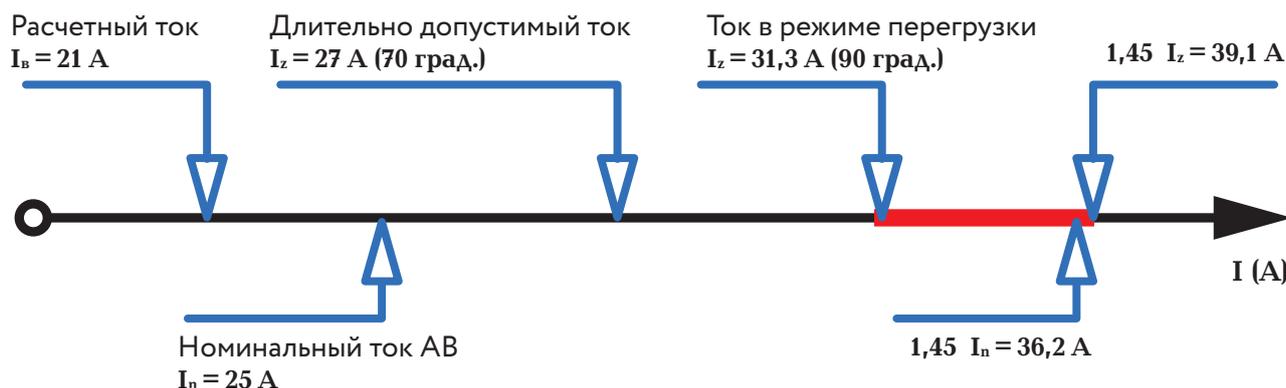
Таблица допустимых номиналов автоматов

Я составил табличку, которая поможет лучше ориентироваться в вопросе защиты кабеля. Таблица составлена для трех самых ходовых сечений.

Объясняю, как пользоваться таблицей на примере кабеля с сечением жилы 2,5. Как и на графике, красным выделен интервал (почти 5 А), в котором защиты кабеля не будет. Если же выбрать АВ номиналом 20 или 16 А, интервал будет «отрицательной длины» (отмечено зеленым). Это означает, что защита кабеля состоится всенепременно.

Таблица допустимых номиналов автоматов для трех самых ходовых сечений

| Сечение ТПЖ кабеля, мм ² | 1,5 | | | 2,5 | | | 4 | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Длительно допустимый ток, А | 21 | | | 27 | | | 36 | | |
| Ток перегрузки ТПЖ, А | 24,36 | | | 31,32 | | | 41,76 | | |
| Номинальный ток АВ, А | 16 | 13 | 10 | 25 | 20 | 16 | 32 | 25 | 20 |
| Условный ток расщепления АВ, А | 23,2 | 18,85 | 14,5 | 36,25 | 29 | 23,2 | 46,4 | 36,25 | 29 |
| Интервал перегрузки ТПЖ, А | -1,16 | -5,51 | -9,86 | 4,93 | -2,32 | -8,12 | 4,64 | -5,51 | -12,76 |



Для сечения 1,5 подойдут автоматы вплоть до 16 А. Для 4 мм² максимальный автомат — 25 А.

Что еще нужно учитывать при выборе кабеля и автомата?

На выбор сечения кабеля и номинала автомата, кроме вышеизложенного, влияет много факторов. Перечислю их в едином списке, поскольку они тесно взаимосвязаны.

Потери напряжения на кабеле. Особенно важно это учитывать на протяженных линиях. Например, если нужно подключить розетку на расстоянии 100 м, то придется использовать кабель с сечением ТПЖ не менее 4 мм². Но тогда нужно выбирать номинал АВ, ориентируясь на ток нагрузки (обычно 16 А) и низкий ток КЗ в конце линии.

Ток КЗ. Если он имеет низкое значение, то выключение при сверхтоке может длиться очень долго, либо вовсе не произойти. Чтобы все работало как надо, нужно либо увеличить сечение кабеля, либо уменьшить номинал и «букву» АВ. Подробно эту тему я рассмотрел в статье «Ток КЗ: размер имеет значение!».

Ток нагрузки. Прежде всего, нагрузкой для кабеля является розетка. И как я уже говорил, можно ориентироваться на самое слабое звено в цепи — розетку или то, что будет к ней подключаться. Поэтому, установка на линии автомата согласно номиналу розетки, считается хорошим тоном в электрике.

Подключение освещения. То же, что и в предыдущем пункте — если люстра или группа светильников потребляет ток менее 1 А, то какой смысл ставить на эту линию освещения с кабелем 1,5 мм² автомат номиналом 16 А? Вполне достаточно 6 или 4 А.

Пусковые токи. Светодиодные светильники имеют высокий пусковой ток, это надо знать, выбирать номинал АВ. В особо тяжелых случаях нужно подумать о характеристике отключения АВ, либо разделить нагрузку на несколько линий.

Способ прокладки. Если хочется окунуться в море способов прокладки и связанных с ними токовых коэффициентов, пожалуйста: ГОСТ Р 50571.5.52-2011, Приложение В, С. Также смотрите ПУЭ-7, гл. 1.3.

Температура окружающей среды. Нагрев АВ и кабелей от внешних источников тепла учитывается при помощи поправочных коэффициентов, которые можно найти у производителей и в ГОСТах. При нагреве номинальный ток АВ и допустимый ток кабеля понижаются. При охлаждении — наоборот. Например, при -5°C кабель сечением 2,5 мм² может пропускать ток до 50 А (соответственно выбирается и автомат).

Групповая установка автоматов. Механизм тот же, что и в предыдущем пункте — если установить рядом много автоматов, они будут взаимно нагревать друг друга, и их номинальные токи понизятся. То есть график ВТХ сдвинется влево.

Запас. Надежность и безопасность — превыше всего. Никогда нельзя надеяться, что кабель и автоматы, а также условия окружающей среды и прокладки реально будут такими, как в теории. Если что-то плохое может произойти, оно обязательно произойдет. И в наших силах снизить вероятность негативных событий всеми разумными методами.

Заключение

Можно взять готовые решения по выбору сечений кабеля и номиналов автоматов, и действовать по проверенному плану. Но нужно всегда знать, на чем основаны эти решения. И знать, где искать ответ на нестандартные задачи.

Надеюсь, я заставил вас задуматься о принципах защиты кабелей. Теперь вы знаете, что на вопрос «Можно ли защитить кабель с сечением жилы 2,5 мм² автоматом на 25 А?» невозможно однозначно ответить «Да» или «Нет».

Текст: Александр ЯРОШЕНКО,
автор блога SamElectric.ru