



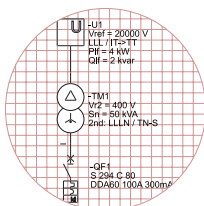
Оборудование для автоматизации

Методические рекомендации по выбору и размещению автоматических выключателей в распределительных сетях 0,4 кВ и низковольтных комплектных устройствах

Серия инженера-конструктора

Power and productivity
for a better world™





Методические рекомендации по выбору и размещению автоматических выключателей в распределительных сетях 0,4 кВ и низковольтных комплектных устройствах

Содержание

Введение 2

1 Проблемы перегрева в распределительных щитах

- 1.1 Общие положения 3
- 1.2 Номинальный ток 3
- 1.3 Проверка превышения температуры посредством испытания (согласно МЭК 60439-1) 4
- 1.4 Проверка превышения температуры путем экстраполяции..... 7

2 Рекомендации по увеличению номинального тока у автоматических выключателей в распределительных щитах

- 2.1 Потери мощности в распределительных щитах..... 9
 - 2.1.1 Внутренняя конструкция 9
 - 2.1.2 Потери мощности в автоматических выключателях 9
 - 2.1.3 Поперечное сечение проводников и рассеиваемая мощность 11
 - 2.1.4 Пути тока 15
- 2.2 Рассеивание образованного тепла в распределительных щитах 16
 - 2.2.1 Вентиляция распределительного щита 16
 - 2.2.2 Боковые поверхности и размещение распределительных щитов..... 16
 - 2.2.3 Виды внутреннего разделения распределительных щитов 17
 - 2.2.4 Степень защиты распределительных щитов 17
- 2.3 Рассеивание тепла, образованного на выводах 17

- 2.3.1 Проблемы, связанные с конвекцией 17
- 2.3.2 Проблемы, связанные с теплопроводностью 20
- 2.3.3 Номинальный ток автоматических выключателей и шин 22

3 Проблемы, связанные с коротким замыканием

- 3.1 Основные определения параметров, характеризующих распределительный щит в условиях короткого замыкания..... 39
 - 3.1.1 Общие указания и информация о прочности при коротком замыкании 39
- 3.2 Указания относительно электрических цепей распределительного щита.... 40
 - 3.2.1 Сборные шины..... 40
 - 3.2.2 Распределительные шины и проводники, ответвленные от сборных шин 41
- 3.3 Снижение возможности возникновения короткого замыкания и соответствующих воздействий 42
 - 3.3.1 Минимальные анкерные расстояния для проводников 42
 - 3.3.2 Проверка прочности при коротком замыкании и характеристик токоограничения выключателями АББ..... 45
 - 3.3.3 Проблемы, касающиеся монтажных расстояний 46

Приложение А:

Пример электрических распределительных щитов с автоматическими выключателями АББ 48

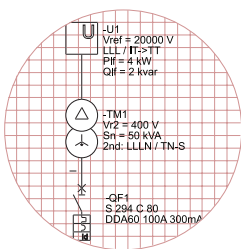
Приложение В:

Виды внутреннего разделения 50

Приложение С:

Степени защиты (код IP)..... 51

Глоссарий..... 52



Серия инженера-конструктора

Введение

Низковольтное устройство распределения и управления (НКУ): комбинация низковольтных коммутационных аппаратов с устройствами управления, измерения, сигнализации, защиты, регулирования и т.п., полностью смонтированных изготовителем НКУ (под его ответственность на единой конструктивной основе) со всеми внутренними электрическими и механическими соединениями с соответствующими конструктивными элементами.

НКУ состоит из несущей конструкции (п.2.4.1. ГОСТ Р 51321.1-2000), предназначенной для установки на ней комплектующих элементов НКУ и оболочки, а также аппаратуры распределения и управления со всеми внутренними электрическими и механическими соединениями.

В данном издании приводятся справочные материалы по величинам мощности потерь для основных элементов НКУ:

- автоматических выключателей;
- кабельно-проводниковой продукции, входящей в состав главной и вспомогательной цепей НКУ;
- компонентов сборных и распределительных шин.

А также на основе конкретных примеров даются практические рекомендации обоснованного выбора автоматических выключателей для НКУ.

В пособии дан обзор требований основных стандартов по низковольтным комплектным устройствам и аппаратуре распределения и управления. К ним относятся:

1. ГОСТ Р 51321.1-2000 (стандарт МЭК 60439-1-92) "Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Устройства, испытанные полностью или частично. Общие технические требования и методы испытаний".
2. ГОСТ Р 50030.1-2000 (стандарт МЭК 60947-1-99) "Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие требования и методы испытаний".
3. ГОСТ Р 50030.2-99 (стандарт МЭК 60947-2-98) "Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели".

Проведен анализ главных проблем, с которыми сталкиваются производители НКУ при разработке его конструкции и выполнении требований вышеперечисленных технических норм.

Пособие структурно состоит из трех основных частей. Глава 1 посвящена проблемам перегрева в НКУ. В главе 2 даны рекомендации по решению проблем перегрева путем обоснованного выбора номинальных токовых характеристик автоматических выключателей, устанавливаемых в НКУ. В главе 3 рассмотрены аварийные режимы работы НКУ и даны рекомендации по снижению вероятности их возникновения.



1 Проблемы перегрева в распределительных щитах

1.1 Общие положения

Одна из основных проблем, усложняющая выбор типа и марки автоматического выключателя для НКУ - это правильная оценка такого его параметра как номинальный длительный ток (I_n).

Полная свобода производителя НКУ при проектировании распределительных щитов с использованием компонентов, различных по количеству, положению и размерам, приводит к такому разнообразию условий монтажа одного и того же автоматического выключателя, что невозможно точно определить фактическое значение этого параметра, который тесно связан с конкретными рабочими условиями внутри корпуса НКУ. Поэтому при выборе аппарата защиты недостаточно руководствоваться только такой его характеристикой как “номинальный ток” (I_n). Такой подход является характерной ошибкой при выборе аппаратов защиты на этапе проектирования распределительных сетей 0,4 кВ. После расчета величин токов в цепях этих сетей инженер-проектировщик выбирает автомат защиты, исходя из значения I_n . Производитель НКУ в этом случае должен выбрать такие размеры корпусов НКУ и степени защиты, обеспечиваемые их оболочками, которые создадут условия, идентичные условиям испытания, при которых определялась величина I_n производителем выключателя, что при реальном конструировании НКУ реализовать практически невозможно. Далее рассмотрим более подробно понятия “номинального тока” автоматического выключателя и условия, при которых он определяется.

1.2 Номинальный ток

В начале раскроем содержание понятия “номинальный ток” в контексте определений, приводимых в стандартах ГОСТ Р 50030.1 и ГОСТ Р 50030.2. Номинальным током автоматического выключателя (I_n) является номинальный длительный ток (I_u), равный условному тепловому току на открытом воздухе (I_{th}) (п.4.3.2.3 ГОСТ Р 50030.2). Условный тепловой ток на открытом воздухе (I_{th}) - это максимальное значение испытательного тока, используемого при проверке превышения температуры аппаратов открытого исполнения на открытом воздухе (п. 4.3.2.1 ГОСТ Р 50030.1).

Далее рассмотрим более подробно условия проведения испытаний для определения номинальных параметров автоматических выключателей, предусмотренных стандартом ГОСТ Р 50030.2 (МЭК 60947-2).

Условия испытаний должны удовлетворять требованиям, перечисленным в п.8.3.2. ГОСТ Р 50030.2 (МЭК 60947-2). К ним относятся:

- выключатели должны испытываться на открытом воздухе. Под “открытым воздухом” стандарт ГОСТ Р 50030.1 (МЭК 60947.1) понимает “нормальную атмосферу в помещении без сквозняков и внешней радиации, следовательно, не допускаются никакая внешняя радиация (например, обусловленная солнечными лучами - Рисунок 1) или сквозняки, если только они не вызваны естественной конвекцией вследствие нагревания (Рисунок 1а);

Рис. 1

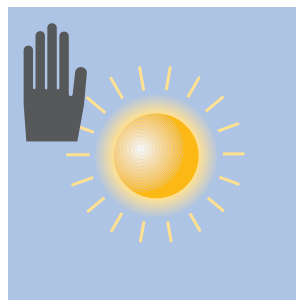
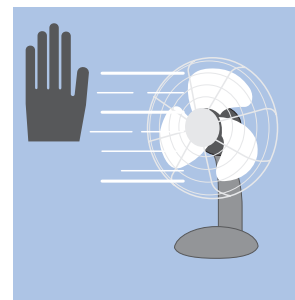
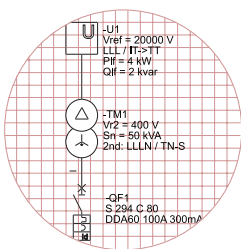


Рис. 1а



- номинальный ток проверяется путем соединения автоматического выключателя с проводниками, имеющими размер (максимум) и длину (минимум), как указано в соответствующем Стандарте, это означает, что стандартные условия применимы также к условиям соединения автоматического выключателя;
- номинальный ток проверяется во время испытания путем обеспечения максимального превышения температуры в пределах, допустимых на различных частях автоматического выключателя. Такое превышение температуры, понимаемое не как абсолютная температура, а как разница температур, выраженная в градусах Кельвина, соотносится с температурой окружающего воздуха 40°C. Реальные условия эксплуатации автоматических выключателей значительно отличаются от условий, при которых проводятся их испытания. Это обусловлено тем, что автоматические выключатели устанавливаются на несущих конструкциях НКУ, которые имеют защитные оболочки (это понятие дано по ГОСТ Р 51321.1, поэтому не путать с понятием “оболочки” по ГОСТ Р 50030). Функции защитных оболочек НКУ следующие:
 - преграждение доступа людям к соединениям различной аппаратуры (за исключением преднамеренных действий);
 - обеспечение места для размещения автоматических выключателей, где гарантируется стабильное положение;
 - гарантия адекватной защиты от проникновения твердых инородных предметов и воды.
 Но вместе с этим защитные оболочки также ограничивают доступ воздуха к элементам НКУ.

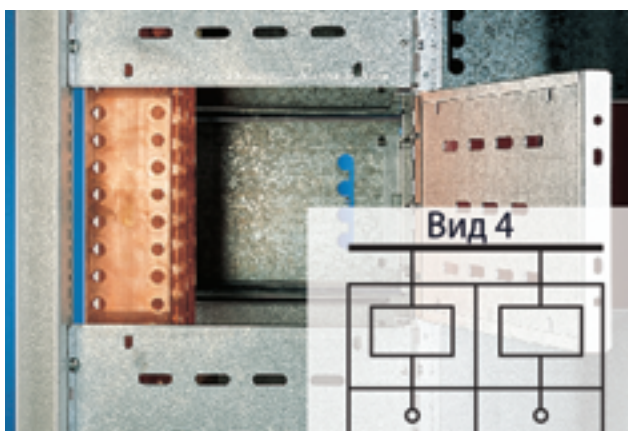


Серия инженера-конструктора

Поэтому условия установки внутри НКУ отличаются от условий, заданных стандартом ГОСТ Р 50030.2 (МЭК 60947-2), необходимых для определения номинального тока автоматического выключателя.

Внутри корпуса НКУ присутствуют также дополнительные элементы, такие как - соединительные провода, ограждения, другие аппараты защиты и коммутации.

Рис.2



Поэтому конкретный автоматический выключатель вынужден работать в условиях, которые имеют следующие особенности:

- работа в закрытом пространстве, а не на открытом воздухе, с конкретным указанием в отношении его циркуляции;
- длины соединительных проводников выбраны с учетом фактической конструкции НКУ;
- температура воздуха вокруг автоматического выключателя зависит от перечисленных выше факторов, а также от общего количества размещенных в данном объеме корпуса аппаратов защиты и управления.

Этот вывод закреплен в п.8.3.2 ГОСТ Р 50030.2-99 (МЭК 6-947.2). Он предусматривает проведение дополнительных испытаний автоматических выключателей, установленных в НКУ в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1).

1.3 Проверка превышения температуры посредством испытания (согласно Стандарту МЭК 60439-1)

Промышленный Стандарт МЭК 60439-1 на низковольтные комплектные устройства касается не отдельных имеющих компонентов, но "оборудования", понимаемого как комбинация одного или многих защитных или коммутационных аппаратов, оснащенных всевозможными устройствами коммутации, измерения, защиты и регулировки с внутренними электрическими и механическими соединениями.

Поэтому, когда в данном Стандарте упоминается номинальный ток, то речь идет о номинальном токе единой электрической цепи, а не о номинальном токе отдельных компонентов, таких как автоматические выключатели или проводники. В соответствии с определением, номинальный ток цепи устанавливается производителем распределительного щита как функция номинальных значений электрических компонентов цепи, их расположения и применения.

Ток должен проходить, не вызывая увеличения температуры различных частей устройства выше предельных значений, установленных при проведении испытания в соответствии с указаниями Стандарта.

Условия проведения испытания на превышение температуры содержат два основных указания:

- цепи распределительного щита должны испытываться при токе, равном номинальному току, умноженному на номинальный коэффициент одновременности f_n , понимаемый как отношение между максимальным значением суммы токов, протекающих по всем рассматриваемым основным цепям в любой момент, и суммой номинальных токов тех же цепей

$$I_{test} = I_n \times f_n$$

- если нет подробной информации о внешних проводниках, используемых в нормальных рабочих условиях, поперечные сечения в зависимости от номинального тока цепей задаются Стандартом.

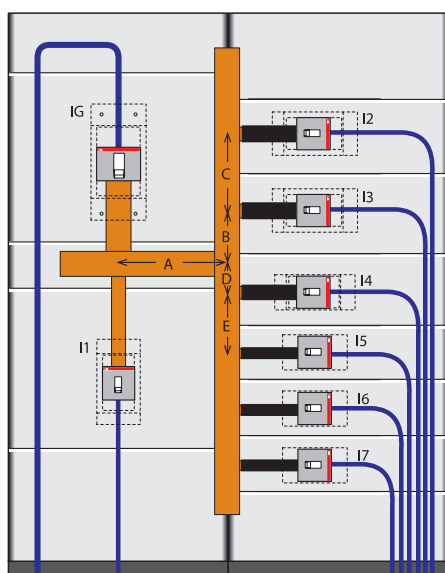
Дополнительную информацию по соответствующим вопросам следует смотреть в указаниях, содержащихся в Стандарте.

Из вышеприведенных указаний следует, что:

- если номинальный коэффициент одновременности $f_n < 1$ (не все нагрузки подаются со 100% номинальным током), цепи распределительного щита испытываются при значении тока, меньше номинального при полной нагрузке; однако, испытание должно проводиться на таких цепях, которые позволяют воспроизвести самые тяжелые условия превышения температуры;
- если в распределительном щите имеются проводники с поперечным сечением, которое меньше сечения, предписанного Стандартом, и они используются при

испытании, то при нормальной эксплуатации может наступить превышение температуры выше максимальных допустимых значений, измеренных во время испытания. Следующий числовой пример поясняет сказанное выше. Имеется распределительный щит (Рис. 3), нагрузки которого подсоединены такими же проводниками, посредством которых он вводится в эксплуатацию; производитель задает номинальный ток для цепей нагрузки и определяет номинальный коэффициент одновременности “fn” для испытываемой конструкции. В этих условиях распределительный щит или часть распределительного щита испытывается путем одно-временной “подачи” во все цепи испытательного тока, равного заданному номинальному току, умноженному на “fn”.

Рис. 3



I2 = 160A	fn=0,8	I2test = 128A
I3 = 400A	fn=0,8	I3test = 320A
I4 = 250A	fn=0,8	I4test = 200A
I5 = 630A	fn=0,8	I5test = 504A
I6 = 160A	fn=0,8	I6test = 128A
I7 = 400A	fn=0,8	I7test = 320A

Следовательно, в распределительном щите номинальный ток цепи не задается, а определяется с учетом заданного коэффициента одновременности. В соответствии с этими условиями испытаний определяются значения абсолютной температуры T_T (выражена в °C), при которой работают различные части устройства; с учетом средней температуры окружающей среды T_A , ниже или равной 35 °C, не должны быть превышены пределы превышения температуры $\Delta T = (T_T - T_A)$, установленные Стандартом МЭК 60439-1. В Таблице 1 для различных компонентов устройств указаны пределы превышения температуры, которые действительны при проведении испытания на превышение температуры в соответствии с указаниями ГОСТ Р 51321.1-2000 (МЭК 60439-1-92).

Таблица 1

Часть НКУ	Температура нагрева/превышение температуры, °C
Встроенные комплектующие* элементы	В соответствии с техническими условиями на отдельные комплектующие элементы, а при их отсутствии - согласно инструкциям изготовителя с учетом температуры внутри НКУ
Зажимы для внешних изолированных проводников	70**/30
Шины и проводники, втычные контакты выдвижных или съемных частей, соединяющихся шинами	Ограничивается: - механической прочностью проводящего материала; - возможным влиянием на близлежащую аппаратуру; - допустимой температурой изолирующих материалов, находящихся в контакте с проводником; - влиянием температуры проводника на аппарат, к которому он присоединен; - свойствами и обработкой поверхности материала контакта (для втычных контактов).
Средства ручного управления:	
из металла	55***/15
из изоляционного материала	65***/25
Доступные наружные оболочки и элементы оболочек:	
металлические поверхности	70****/30
- изолирующие поверхности	80****/40
Отдельно расположенные устройства разъемного и розеточного типа	Определяется предельной температурой элементов оборудования, частью которого они являются*****

* Термин “встроенные комплектующие элементы” означает:
- обычную коммутационную и управляющую аппаратуру;
- электронные блоки (например, выпрямительный мост, печатная схема);
- части оборудования (например, регулятор, стабилизированный источник питания, операционный усилитель).

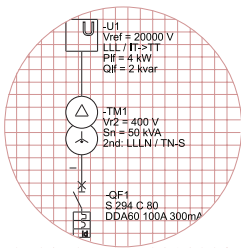
** Указано предельное значение температуры нагрева 70 °C для проводников с ПВХ изоляцией по ГОСТ Р МЭК 227.3 и ГОСТ Р МЭК 227.4, которое не должно превышать при испытаниях, проводимых в соответствии с 8.2.1. НКУ, эксплуатируемое и испытываемое в конкретных условиях эксплуатации, может иметь соединения, тип, характер и расположение которых не будут такими, какие были приняты при проведении испытаний, и полученная температура нагрева зажимов может иметь значение, которое необходимо принять.

*** Для органов ручного управления внутри НКУ, доступ к которым возможен только после открывания НКУ и которыми редко пользуются, допускается более высокая температура нагрева, например для рукояток аварийного отключения, рукояток, предназначенных для выдвижения блоков.

**** Если нет других указаний относительно оболочки и ее элементов, к которым имеется открытый доступ, но которых нет необходимости касаться во время нормальной эксплуатации, то допускается принимать предельные значения температуры нагрева на 10 °C выше установленной.

***** Это позволяет проявлять определенную гибкость в отношении выбора оборудования (например электронных устройств), у которого предельные значения температуры нагрева отличаются от обычных предельных значений для аппаратуры.

Автоматические выключатели могут быть определены как встроенные компоненты, и поэтому они должны соответствовать указаниям производственных Стандартов. Однако очевидно, что автоматические выключатели и, особенно,



Серия инженера-конструктора

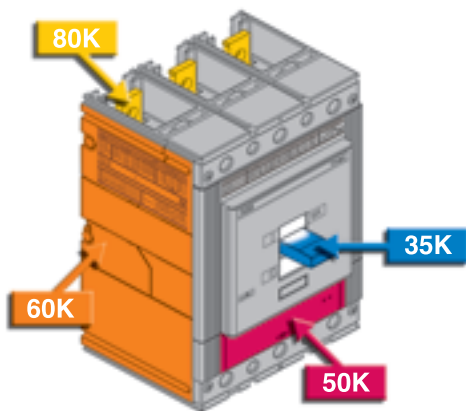
некоторые их части (например, доступные части и устройства управления) могут также считаться во всех отношениях частью комплектного распределительного устройства. Особенно это относится к выводам, к которым подсоединены внешние изолированные проводники, которые, в соответствии с комментариями Таблицы 1, должны отвечать наиболее строгим или ограничивающим требованиям двух производственных Стандартов.

Для пояснения этой концепции в Таблице 2 и на Рис. 4 ниже приводятся данные о пределах превышения температуры, указанных в Стандарте МЭК 60947-2 для автоматических выключателей, рассматриваемых как отдельный компонент на открытом воздухе.

Таблица 2

Части устройств-описание	Пределы превышения температуры	Температурные пределы (начиная от $T_A = 40^\circ\text{C}$)
Выводы	80K	120 °C
Ручные устройства управления:		
металлические части	25K	65 °C
части из изоляционного материала	35K	75 °C
Части, к которым прикасаются, но не берутся за них:		
металлические части	40K	80 °C
части из изоляционного материала	50K	90 °C
Части, которые не предназначены для прикосновения при нормальной эксплуатации:		
металлические части	50K	90 °C
части из изоляционного материала	60K	100 °C

Рис. 4



Как следует из Таблицы 2, для автоматического выключателя на открытом воздухе допустимое превышение температуры на выводах составляет $\Delta T = 80\text{K}$; следовательно, принимая за исходное значение температуру окружающей среды $T_A = 40^\circ\text{C}$, можно вывести, что максимальная допустимая температура составляет $T_T = (\Delta T + T_A) = 120^\circ\text{C}$.

Но в указаниях относительно превышения температуры, приведенных в Стандарте на распределительный щит, средняя температура окружающей среды $T_A = 35^\circ\text{C}$; максимальный предел превышения температуры выводов распределительного щита для внешних изолированных соединений составляет 70K, и, следовательно, максимальная рабочая температура составляет 105°C.

Если автоматический выключатель установлен в НКУ, а исходная температура окружающей среды составляет 35°C, то используя данные Таблицы 1 можно рассчитать максимальную

температуру для выводов автоматического выключателя, которая будет составлять 120°C, а предел максимального превышения составит 85K.

Если соединение к выводам реализовано с помощью проводников с изоляцией ПВХ, температура кабельного компонента определяет максимальную допустимую температуру на выводах, в данном случае 70°C. Напротив, если соединение с автоматическим выключателем выполнено неизолированными медными шинами, максимальная рабочая температура которых составляет 95°C, в отношении выводов автоматического выключателя действует указание, определяющее максимальную рабочую температуру, соответственно, равную 95°C.

Таким образом, в Таблице 3 и на рис. 5 указаны максимальные допустимые значения превышения температуры и температурного предела для различных частей устройств согласно Стандарту на распределительные щиты и пределы превышения температуры для автоматического выключателя, установленного в низковольтном распределительном щите, пересчитанные с учетом исходной температуры окружающей среды $T_A = 35^\circ\text{C}$.

Таблица 3

Части устройств-описание	Пределы превышения температуры	Температурные пределы (начиная от $T_A = 35^\circ\text{C}$)
Вывод для внешних изолированных соединений (МЭК 60439-1)	35K	70 °C
Выводы для внешних соединений (МЭК 60947-2)	60K	95 °C

Ручные устройства управления:

Доступные при закрытом устройстве

из металла	15K	50 °C
из изоляционного материала	25K	60 °C

Доступные только при открытом устройстве

из металла	30K	65 °C
из изоляционного материала	40K	75 °C

Части, к которым прикасаются, но не берутся за них: (CEI EN 60439-1)

из металла	30K	65 °C
из изоляционного материала	40K	75 °C

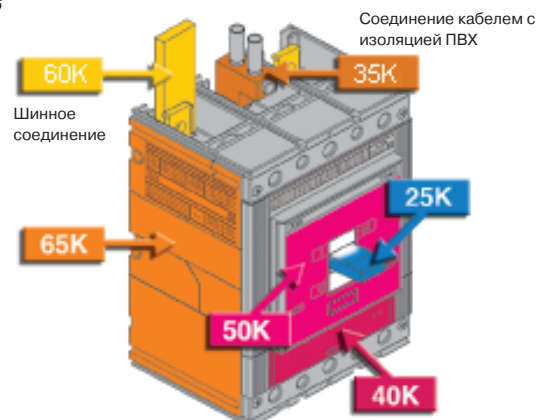
Части, к которым не нужно прикасаться при нормальной эксплуатации (МЭК 60439-1):

из металла	40K	75 °C
из изоляционного материала	50K	85 °C

Недоступные части, к которым не нужно прикасаться при нормальной эксплуатации (МЭК 60947-2):

из металла	55K	90 °C
из изоляционного материала	65K	100 °C

Рис. 5



1.4 Проверка превышения температуры путем экстраполяции

Стандарт на низковольтные комплектные распределительные устройства предусматривает возможность проверки превышения температуры устройств типа ЧИ НКУ также путем экстраполяции, со ссылкой на указания Стандарта МЭК/TR 60890 "Метод оценки превышения температуры путем экстраполяции для прошедших частично типовые испытания (ЧИ НКУ) низковольтных комплектных распределительных устройств".

Предложенный метод позволяет определить превышение температуры внутри корпуса устройств ЧИ НКУ без принудительной вентиляции.

Достоверность расчета ограничивается несколькими предположениями:

- внутри оболочки примерно равномерное распределение потерь мощности;
- установленное оборудование расположено так, что немного нарушена циркуляция воздуха;
- установленное оборудование рассчитано на постоянный ток или переменный ток до 60 Гц включительно, с полным током питания не выше 3150 А;
- проводники, проводящие высокие токи, и конструктивные элементы расположены так, что потери на вихревые токи ничтожно малы;
- у оболочек с вентиляционными отверстиями поперечное сечение отверстий для выпуска воздуха, по меньшей мере, в 1,1 раза больше поперечного сечения отверстий для доступа воздуха;
- в устройстве или в секции устройства не более трех горизонтальных перегородок;
- там где оболочки с внешними вентиляционными отверстиями имеют отсеки, площадь вентиляционных отверстий в каждой горизонтальной перегородке должна составлять не менее 50% горизонтального поперечного сечения отсека.

Для расчета превышения температуры воздуха внутри оболочки необходимы следующие данные:

- геометрические размеры (высота/ширина/глубина);
- действительные потери мощности оборудования, шин, кабелей и соединений;
- тип исполнения оболочки (открытый, закрытый и т.д.);
- наличие и размеры вентиляционных отверстий;
- количество внутренних горизонтальных перегородок.

Что касается анализа предложенных методов расчета, читателю следует обратиться непосредственно к Стандарту.

Для выполнения анализа превышения температуры в соответствии с данным методом расчета АББ предлагает бесплатное программное обеспечение ОТС. Начиная с ввода требуемых данных, эта программа рассчитывает температуру воздуха на различных высотах оболочки посредством специализированного интерфейса, вид которого показан на рисунке ниже.

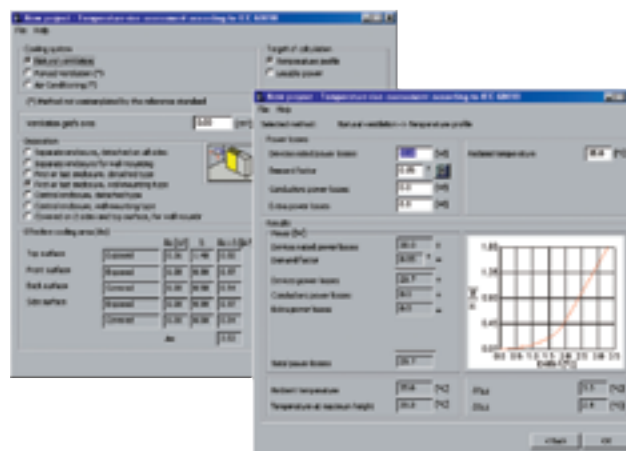
Когда известна температура воздуха на различных высотах оболочки, можно проверить, пригодны ли компоненты, находящиеся в определенном положении, для работы при этой температуре, или их требуется заменить другими компонентами.

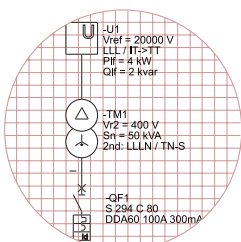
С этой целью, в отношении автоматических выключателей, АББ предоставляет данные о снижении номинального тока в зависимости от температуры воздуха вокруг автоматического выключателя: таким образом, появляется возможность рассчитать, превышает ли номинальный ток, допустимый для автоматического выключателя при температуре, рассчитанной в точке его установки, ток подключенной нагрузки.

Относительно вышесказанного следует заметить, что знание только температуры воздуха вокруг автоматического выключателя не дает возможности расчета номинального тока.

Однако необходимо принять во внимание, что метод расчета, предложенный в Стандарте МЭК/TR 60890 является консервативным, что обычно приводит к более высоким значениям, чем те, которые могут быть иметь место в действительности. Поэтому можно констатировать, что, если соблюдены минимальные размеры соединений, предложенные АББ (см. Таблицы 16 и 17 на стр. 21), потери мощности всех компонентов рассчитаны правильно и полученные таким образом результаты подтверждают опыт производителя, то предложенный метод расчета можно применять, без риска получить ошибки.

Интерфейс ОТС





Серия инженера-конструктора

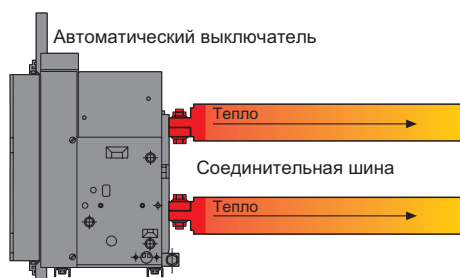
2 Рекомендации по увеличению номинального тока у автоматических выключателей в распределительных щитах

Для того чтобы дать необходимые указания по методам увеличения номинального тока автоматических выключателей в распределительных щитах, прежде всего, следует проанализировать устройство с точки зрения термодинамики.

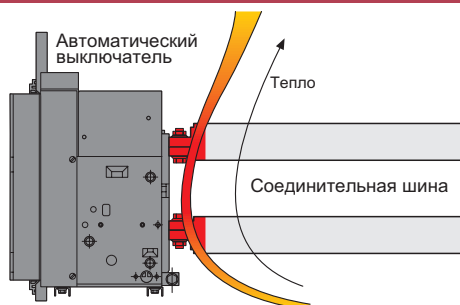
Распределительный щит может рассматриваться как конструкция, содержащая ряд элементов, выделяющих тепло, и способная рассеивать тепло во внешнюю среду. Элементы, образующие тепло внутри оболочки, обмениваются теплом друг с другом (теплопроводность), с воздухом внутри распределительного щита (конвекция) и со стенками самого распределительного щита (излучение), как показано на Рис. 6.

Рис. 6

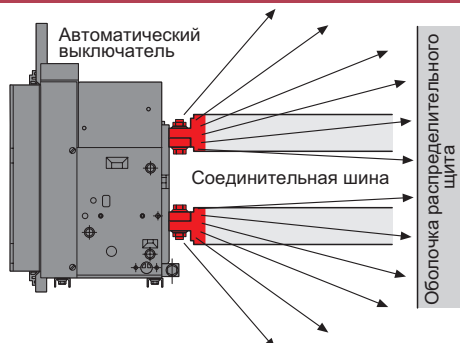
Теплопроводность



Конвекция



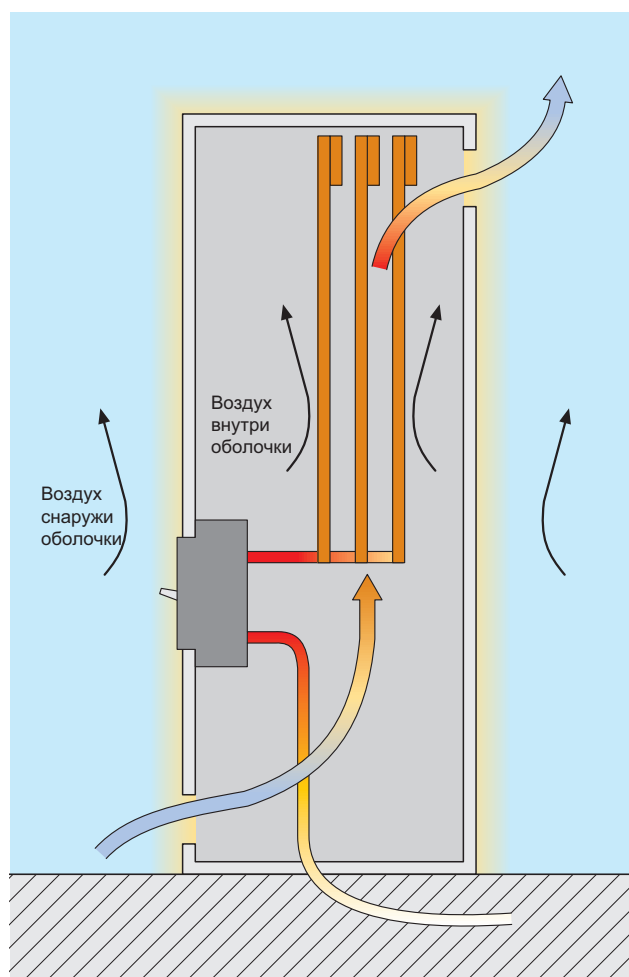
Излучение



В свою очередь, оболочка щитка осуществляет теплообмен с внешней средой. Также этот теплообмен происходит посредством теплопроводности (через кабели, подсоединенные к устройству), конвекции и излучения, как

показано на Рис. 7. В оболочках с не очень высокой степенью защиты или с вентиляционными отверстиями теплообмен частично осуществляется через реальную воздушную циркуляцию между устройством и внешней средой.

Рис. 7



Все эти явления циркуляции и обмена внутреннего и внешнего воздуха, наряду с конструкцией оболочки, влияют на температуру в каждой точке оболочки и каждого компонента, установленного внутри нее.

В данной главе выполняется анализ основных элементов, влияющих на температуру внутри распределительного щита, и приводится некоторая полезная информация относительно их оптимизации с целью снижения температуры и, следовательно, ограничения снижения ухудшения величины номинального тока автоматических выключателей.

Это следующие элементы:

- потери мощности внутри оболочки;
- рассеивание тепла, произведенного внутри оболочки;
- рассеивание тепла, произведенного выводами;

2.1 Потери мощности в распределительных щитах

Как известно, изменение температуры может быть вызвано потерями мощности вследствие протекания тока. Теперь следует подробно рассмотреть различные компоненты, которые составляют основные источники питания и, следовательно, представляют собой также источники тепла внутри распределительного щита, наряду с мерами, необходимыми для снижения потерь мощности и ограничения их воздействия. Это следующие элементы: внутренняя конструкция, тип установленного автоматического выключателя, площадь поперечного сечения внутренних проводников распределительного щита и пути тока.

2.1.1 Внутренняя конструкция

Материал, применяемый для изготовления конструкции и перегородок внутри распределительных щитов, часто является ферромагнитным и проводящим материалом. Если конструкция системы образует замкнутую структуру вокруг проводников, индуцируются потери, связанные с эффектом Джоуля, вследствие вихревых токов и потерь на гистерезис, с последующим значительным локальным нагревом. То же самое явление наблюдается в шинных магистралях между оболочкой и токопроводящими шинами.

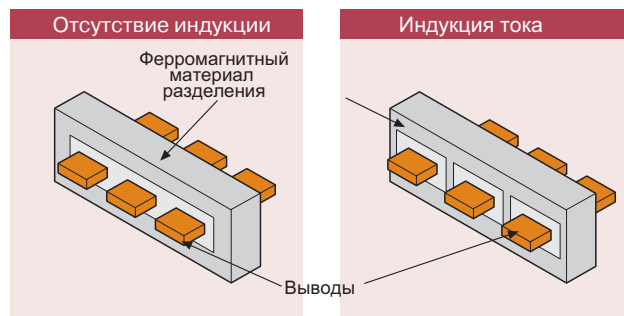
В качестве примера, демонстрирующего воздействие этого явления, в Таблице 4 указано процентное значение, представляющее часть возникающих в оболочке потерь, отнесенных к потерям мощности в токопроводящих шинах. На основании этих данных следует, что повышение номинального тока и, следовательно, количества параллельных шин на фазу, а также применяемый материал для разделения токопроводящих шин, могут существенно повлиять на нагрев.

Для правильной оценки потерь мощности необходимо также учесть конфигурацию формы разделения: в самом деле, если ферромагнитное кольцо охватывает все три проводника трехфазной системы, как показано на Рис. 8 (или все четыре проводника в системе с нейтралью), то сумма токов приводит к

нулевой индукции; напротив, если каждый проводник заключен в одно кольцо (Рис. 8а), общая индукция не является нулевой, с вытекающими отсюда циркуляцией индуцированного тока, потерей мощности и, следовательно, выделением тепла.

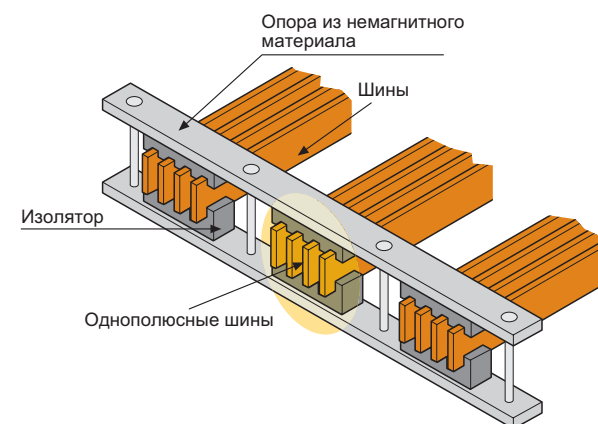
Рис. 8

Рис. 8а



Это затруднение может быть вызвано также механическими креплениями проводников; поэтому важно не допустить образования структуры из близко расположенных колец путем вставки изоляторов или анкерных зажимов, выполненных из немагнитного и/или изоляционного материала (см. Рис. 9).

Рис. 9



2.1.2 Потери мощности в автоматических выключателях

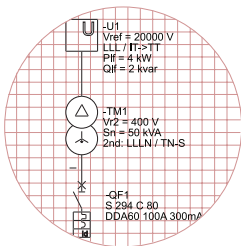
Автоматические выключатели являются компонентами распределительных щитов, которые не могут не приниматься во внимание при расчете полных потерь мощности.

Для упрощения этой оценки АББ предлагает несколько таблиц, приведенных ниже, со ссылкой на автоматические выключатели в литом корпусе серии Tmax (Таблица 5) и автоматические выключатели типа Emax (Таблица 6) соответственно.

Как показано в таблицах ниже, потери мощности одного и того же автоматического выключателя изменяются в зависимости от его исполнения, также от типа установленного защитного расцепителя.

Таблица 4

Количество фаз	Кол - во параллельных шин на фазу	Сечение [мм]	In [А]	Материал элементов шинодержателя (шинной магистрали)	Потери внутри оболочки (% от суммарных потерь внутри токопроводящих шин)
3	1	100x10	1000	ферромагнитный	35% - 45%
3	3	100x10	3000	ферромагнитный	55% - 65%
3	3	100x10	3000	немагнитный (алюминий)	15% - 20%



Серия инженера-конструктора

Принимая во внимание эти две переменные, можно сказать, что:

- потери мощности выкатных автоматических выключателей выше, чем потери стационарных автоматических выключателей
- потери мощности автоматических выключателей с термомагнитными расцепителями выше, чем потери мощности выключателей с электронными расцепителями.

В тяжелых рабочих условиях с точки зрения тепловой нагрузки рекомендуется использовать автоматические выключатели стационарного исполнения с электронными расцепителями.

Разница между потерями мощности автоматического выключателя трехполюсного исполнения по сравнению с четырехполюсным автоматическим выключателем не рассматривается, так как в нормальной цепи ток, протекающий в нейтральном проводнике, принимается за нулевой.

Таблица 5

Полная (3/4 полюса) потеря мощности [Вт]	In [A]	T11P		T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7 S,H,L		T7 V	
		F	W	F	W	F	P	F	P	F	P/W	F	P/W	F	W	F	W	F	W
Расцепители TMF TMD TMA MF MA	1					4,5	5,1												
	1,6					6,3	7,5												
	2					7,5	8,7												
	2,5					7,8	9												
	3,2					8,7	10,2												
	4					7,8	9												
	5					8,7	10,5												
	6,3					10,5	12,3												
	8					8,1	9,6												
	10					9,3	10,8												
	12,5					3,3	3,9												
	16	1,5		4,5		4,2	4,8												
	20	1,8		5,4		5,1	6			10,8	10,8								
	25	2		6		6,9	8,4												
	32	2,1		6,3		8,1	9,6			11,1	11,1								
	40	2,6		7,8		11,7	13,8												
	50	3,7		11,1		12,9	15			11,7	12,3								
	63	4,3		12,9		15,3	18	12,9	15,3										
	80	4,8		14,4		18,3	21,6	14,4	17,4	13,8	15								
	100	7		21		25,5	30	16,8	20,4	15,6	17,4								
	125	10,7		32,1		36	44,1	19,8	23,7	18,6	21,6								
	160	15		45		51	60	23,7	28,5	22,2	27								
	200							39,6	47,4	29,7	37,2								
	250							53,4	64,2	41,1	52,8								
	320											40,8	62,7						
	400											58,5	93						
	500											86,4	110,1						
	630													92	117				
	800													93	119				
PR221 PR222 PR223	10					1,5	1,8												
	25					3	3,6												
	63					10,5	12												
	100					24	27,2			5,1	6,9								
	160					51	60			13,2	18								
	250									32,1	43,8								
	320									52,8	72	31,8	53,7						
	400											49,5	84						
	630											123	160,8	90	115	36	66	60	90
	800													96	125	57,9	105,9	96	144
	1000													150		90	165	150	225
	1250															141	258	234,9	351,9
	1600															231	423		

F: стационарный

W: выкатной

P: втычной

Таблица 6

Полная (3/4 полюса) потеря мощности [Вт]	X1B-N		X1L		E1B-N		E2B-N-S		E2L		E3N-S-H-V		E3L		E4S-H-V		E6H-V	
	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W
In=630	41	63	50	87														
In=800	65	100	80	140	65	95	29	53			22	36						
In=1000	102	157	125	219	96	147	45	83			38	58						
In=1250	159	257	196	342	150	230	70	130	105	165	60	90						
In=1600	260	400			253	378	115	215	170	265	85	150						
In=2000							180	330			130	225	215	330				
In=2500											205	350	335	515				
In=3200											330	570			235	425	170	290
In=4000															360	660	265	445
In=5000																	415	700
In=6300																	650	1100

F: стационарный

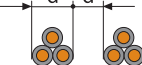
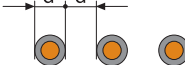
W: выкатной

2.1.3 Поперечное сечение проводников и рассеиваемая мощность

Потери мощности в соединительных системах составляют от 20 до 40% суммарных потерь мощности в НКУ. Принимая во внимание этот факт, при разработке конструкций НКУ необходимо учитывать рекомендации стандарта МЭК/TR 60890, в котором приведены табличные данные о зависимости потерь мощности от площади поперечного сечения проводников и величины протекающего по ним тока. С помощью таблицы 7, 8, 9 на конкретном примере мы покажем важность учета потерь в элементах соединения для правильной оценки суммарных потерь мощности НКУ в целом. Кроме того, важно отметить, что кабели, входящие в оболочку,

оказывают существенное влияние на потери мощности, хотя они часто не принимаются во внимание, так как не являются, в строгом смысле, частью распределительного щита. Здесь приводится пример, показывающий важность влияния соединительных кабелей для правильной оценки суммарных потерь мощности компонентов в распределительном щите.

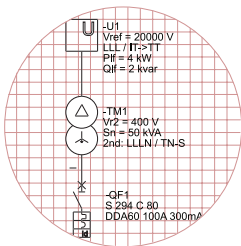
Таблица 7: Рабочий ток и потери мощности изолированных проводников

Сечение (Cu)	Максимальная допустимая температура проводника 70 °C											
	 1)											
	Температура воздуха внутри оболочки вокруг проводников											
	35 °C		55 °C		35 °C		55 °C		35 °C		55 °C	
	ток срабатывания	потери мощности 2)	ток срабатывания	потери мощности 2)	ток срабатывания	потери мощности 2)	ток срабатывания	потери мощности 2)	ток срабатывания	потери мощности 2)	ток срабатывания	потери мощности 2)
мм ²	A	Вт/м	A	Вт/м	A	Вт/м	A	Вт/м	A	Вт/м	A	Вт/м
1,5	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9
2,5	17	2,5	11	1,1	20	3,5	12	1,3	20	3,5	12	1,3
4	22	2,6	14	1,1	25	3,4	18	1,8	25	3,4	20	2,2
6	28	2,8	18	1,2	32	3,7	23	1,9	32	3,7	25	2,3
10	38	3,0	25	1,3	48	4,8	31	2,0	50	5,2	32	2,1
16	52	3,7	34	1,6	64	5,6	42	2,4	65	5,8	50	3,4
25					85	6,3	55	2,6	85	6,3	65	3,7
35					104	7,5	67	3,1	115	7,9	85	5,0
50					130	7,9	85	3,4	150	10,5	115	6,2
70					161	8,4	105	3,6	175	9,9	149	7,2
95					192	8,7	125	3,7	225	11,9	175	7,2
120					226	9,6	147	4,1	250	11,7	210	8,3
150					275	11,7	167	4,3	275	11,7	239	8,8
185					295	10,9	191	4,6	350	15,4	273	9,4
240					347	12,0	225	5,0	400	15,9	322	10,3
300					400	13,2	260	5,6	460	17,5	371	11,4

Проводники для вспомогательных цепей

мм²	A	Вт/м	A	Вт/м	Диам.
0,12	2,6	1,2	1,7	0,5	0,4
0,14	2,9	1,3	1,9	0,6	-
0,20	3,2	1,1	2,1	0,5	-
0,22	3,6	1,3	2,3	0,5	0,5
0,30	4,4	1,4	2,9	0,6	0,6
0,34	4,7	1,4	3,1	0,6	0,6
0,50	6,4	1,8	4,2	0,8	0,8
0,56		1,6		0,7	-
0,75	8,2	1,9	5,4	0,8	1,0
1,00	9,3	1,8	6,1	0,8	-

1) Любая требуемая компоновка с заданными значениями применительно к шести жилам в многожильном пучке с одновременной нагрузкой 100%
2) одинарная длина



Серия инженера-конструктора

Таблица 8: Рабочий ток и потери мощности неизолированных проводников, при вертикальной компоновке, при отсутствии прямых соединений с аппаратурой

Ширина x Толщина	Поперечное сечение (Cu)	Максимальная допустимая температура проводника 85 °C															
		Температура воздуха внутри оболочки вокруг проводников 35 °C								Температура воздуха внутри оболочки вокруг проводников 55 °C							
		50 Гц 60 Гц перем. тока				пост. ток и перем. ток до 16 2/3 Гц				50 Гц 60 Гц перем. тока				пост. ток и перем. ток до 16 2/3 Гц			
		ток срабатывания	потери мощности 1)	ток срабатывания	потери мощности 1)	ток срабатывания	потери мощности 1)	ток срабатывания	потери мощности 1)	ток срабатывания	потери мощности 1)	ток срабатывания	потери мощности 1)	ток срабатывания	потери мощности 1)	ток срабатывания	потери мощности 1)
мм x мм	мм²	A*	Вт/м	A**	Вт/м	A*	Вт/м	A**	Вт/м	A*	Вт/м	A**	Вт/м	A*	Вт/м	A**	Вт/м
12 x 2	23,5	144	19,5	242	27,5	144	19,5	242	27,5	105	10,4	177	14,7	105	10,4	177	14,7
15 x 2	29,5	170	21,7	282	29,9	170	21,7	282	29,9	124	11,6	206	16,0	124	11,6	206	16,0
15 x 3	44,5	215	23,1	375	35,2	215	23,1	375	35,2	157	12,3	274	18,8	157	12,3	274	18,8
20 x 2	39,5	215	26,1	351	34,8	215	26,1	354	35,4	157	13,9	256	18,5	157	12,3	258	18,8
20 x 3	59,5	271	27,6	463	40,2	271	27,6	463	40,2	198	14,7	338	21,4	198	14,7	338	21,4
20 x 5	99,1	364	29,9	665	49,8	364	29,9	668	50,3	266	16,0	485	26,5	266	16,0	487	26,7
20 x 10	199	568	36,9	1097	69,2	569	36,7	1107	69,6	414	19,6	800	36,8	415	19,5	807	37,0
25 x 5	124	435	34,1	779	55,4	435	34,1	78	55,6	317	18,1	568	29,5	317	18,1	572	29,5
30 x 5	149	504	38,4	894	60,6	505	38,2	899	60,7	368	20,5	652	32,3	369	20,4	656	32,3
30 x 10	299	762	44,4	1410	77,9	770	44,8	1436	77,8	556	27,7	1028	41,4	562	23,9	1048	41,5
40 x 5	199	641	47,0	1112	72,5	644	47,0	1128	72,3	468	25,0	811	38,5	469	24,9	586	38,5
40 x 10	399	951	52,7	1716	88,9	968	52,6	1796	90,5	694	28,1	1251	47,3	706	28,0	1310	48,1
50 x 5	249	775	55,7	1322	82,9	782	55,4	1357	83,4	566	29,7	964	44,1	570	29,4	989	44,3
50 x 10	499	1133	60,9	2008	102,9	1164	61,4	2141	103,8	826	32,3	1465	54,8	849	32,7	1562	55,3
60 x 5	299	915	64,1	1530	94,2	926	64,7	1583	94,6	667	34,1	1116	50,1	675	34,4	1154	50,3
60 x 10	599	1310	68,5	2288	116,2	1357	69,5	2487	117,8	955	36,4	1668	62,0	989	36,9	1814	62,7
80 x 5	399	1170	80,7	1929	116,4	1200	80,8	2035	116,1	858	42,9	1407	61,9	875	42,9	1484	61,8
80 x 10	799	1649	85,0	2806	138,7	1742	85,1	3165	140,4	1203	45,3	2047	73,8	1271	45,3	1756	74,8
100 x 5	499	1436	100,1	2301	137,0	1476	98,7	2407	121,2	1048	53,3	1678	72,9	1077	52,5	1756	69,8
100 x 10	999	1982	101,7	3298	164,2	2128	102,6	3844	169,9	1445	54,0	2406	84,4	1552	54,6	2803	90,4
120 x 10	1200	2314	115,5	3804	187,3	2514	115,9	4509	189,9	1688	61,5	2774	99,6	1833	61,6	3288	101,0

*) один проводник на фазу**) два проводника на фазу 1) одинарная длина

Таблица 9: Ток срабатывания и потери мощности неизолированных проводников, применяемых в качестве соединений между аппаратурой и рабочей системой шин

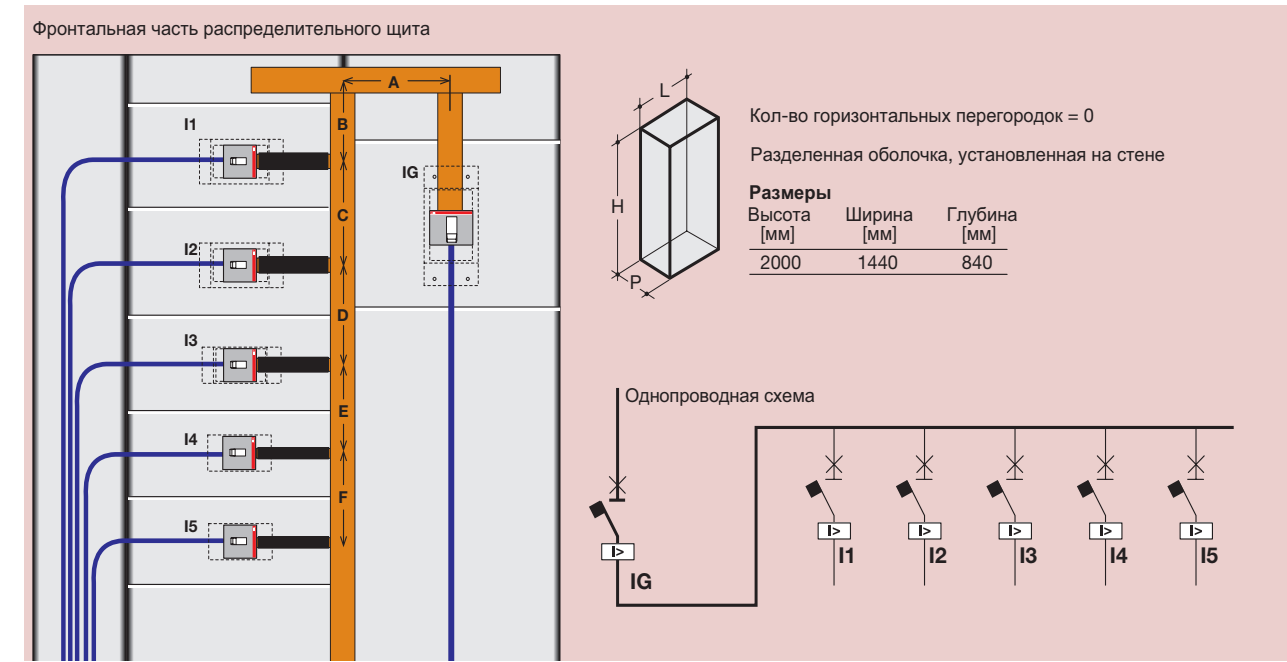
Ширина x Толщина	Поперечное сечение (Cu)	Максимальная допустимая температура проводника 65 °C							
		Температура воздуха внутри оболочки вокруг проводников 35 °C				Температура воздуха внутри оболочки вокруг проводников 55 °C			
		50 Гц 60 Гц перем. и пост. тока				50 Гц 60 Гц перем. и пост. тока			
		ток срабатывания	потери мощности 1)	ток срабатывания	потери мощности 1)	ток срабатывания	потери мощности 1)	ток срабатывания	потери мощности 1)
мм x мм	мм²	A*	Вт/м	A**	Вт/м	A*	Вт/м	A**	Вт/м
12 x 2	23,5	82	5,9	130	7,4	69	4,2	105	4,9
15 x 2	29,5	96	6,4	150	7,8	88	5,4	124	5,4
15 x 3	44,5	124	7,1	202	9,5	102	4,8	162	6,1
20 x 2	39,5	115	6,9	184	8,9	93	4,5	172	7,7
20 x 3	59,5	152	8,0	249	10,8	125	5,4	198	6,8
20 x 5	99,1	218	9,9	348	12,7	174	6,3	284	8,4
20 x 10	199	348	12,8	648	22,3	284	8,6	532	15,0
25 x 5	124	253	10,7	413	14,2	204	7,0	338	9,5
30 x 5	149	288	11,6	492	16,9	233	7,6	402	11,3
30 x 10	299	482	17,2	960	32,7	402	11,5	780	21,6
40 x 5	199	348	12,8	648	22,3	284	8,6	532	15,0
40 x 10	399	648	22,7	1245	41,9	532	15,3	1032	28,8
50 x 5	249	413	14,7	805	27,9	338	9,8	655	18,5
50 x 10	499	805	28,5	1560	53,5	660	19,2	1280	36,0
60 x 5	299	492	17,2	960	32,7	402	11,5	780	21,6
60 x 10	599	960	34,1	1848	63,2	780	22,5	1524	43,0
80 x 5	399	648	22,7	1256	42,6	532	15,3	1032	28,8
80 x 10	799	1256	45,8	2432	85,8	1032	30,9	1920	53,5
100 x 5	499	805	29,2	1560	54,8	660	19,6	1280	36,9
100 x 10	999	1560	58,4	2680	86,2	1280	39,3	2180	57,0
120 x 10	1200	1848	68,3	2928	85,7	1524	46,5	2400	57,6

*) один проводник на фазу**) два проводника на фазу 1) одинарная длина

Пример

Этот пример имеет целью оценку – в первом приближении – суммарных потерь мощности в распределительном щите, компоновка элементов которого, размеры, конструкция и соответствующая однопроводная схема показаны на Рис. 10.

Рис. 10



Компоненты, которые образуют распределительный щит, это автоматические выключатели, шины и кабели. Потери мощности рассчитываются для каждого компонента, а затем определяются суммарные потери мощности.

Автоматические выключатели

Что касается автоматических выключателей, потери мощности могут быть определены на основании рассеиваемой мощности “P_н” при номинальном токе “I_{н CB}” (см. предыдущие Таблицы 5 и 6), представляющем собой ток, который фактически протекает в автоматическом выключателе “I_b” (ток полной нагрузки цепи).
Формула, объединяющая эти три величины, следующая:

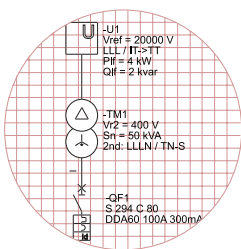
$$P_{cb} = P_{н CB} \times (I_b / I_{н CB})^2$$

Затем, согласно типу аппаратуры, установленной в распределительном щите, в нижеследующей таблице приводится доля в токе нагрузки в переводе на потери мощности отдельного автоматического выключателя и суммарные потери мощности.

Таблица 10

Автоматический выключатель		I _{н CB} [А]	I _b [А]	Потери мощности [Вт]
IG	E2 1600 EL	1600	1340	80,7
I1	T5 400 EL	400	330	33,7
I2	T5 400 EL	400	330	33,7
I3	T5 400 EL	400	330	33,7
I4	T3 250 TMD	250	175	26,2
I5	T3 250 TMD	250	175	26,2
Суммарные потери мощности автоматических выключателей [Вт]				234

Примечание: расшифровка условных обозначений формулы для расчета P_{cb} дана в глоссарии на стр. 52.



Серия инженера-конструктора

Шины

Что касается системы сборных шин, распределительных шин и шин, соединяющих автоматические выключатели и кабели, действительные потери мощности могут быть определены на основании рассеиваемой мощности, при номинальном токе и на единицу длины, как указано в предыдущих Таблицах 8 и 9.

Формула связи данных в таблице с характеристиками (ток нагрузки и длина) шин, установленных в распределительном щите, следующая:

$$P_{SB} = Pn_{SB} (Ib/In_{SB})^2 \times 3 \times L_{SB}$$

Отсюда, с учетом типологии, длины "L" и тока нагрузки шин, установленных в распределительном щите, в Таблице 11 ниже приводится доля в пересчете на потери мощности при одинарной длине и суммарные потери мощности.

Таблица 11

Соединительная шина	Площадь сечения px[мм]x[мм]	Длина [м]	Ib [A]	Потери мощности [Вт]
IG	2x60x10	0,450	1340	54
I1	30x10	0,150	330	3,8
I2	30x10	0,150	330	3,8
I3	30x10	0,150	330	3,8
I4	20x10	0,150	175	1,6
I5	20x10	0,150	175	1,6
Суммарные потери мощности соединительных шин [Вт]				68

Кабели

Что касается кабелей, со ссылкой на вышеприведенную Таблицу 8, может быть использован тот же метод, который применялся в отношении шин, а соответствующие результаты указаны в Таблице 12.

Кабель	Площадь сечения [п]xмм²	Длина [м]	Ib [A]	Потери мощности [Вт]
IG	4x240	1,0	1340	133,8
I1	240	2,0	330	64,9
I2	240	1,7	330	55,2
I3	240	1,4	330	45,4
I4	120	1,1	175	19
I5	120	0,8	175	13,8
Суммарные потери мощности соединительных шин [Вт]				332

Далее указывается суммарная мощность, рассеиваемая внутри распределительного щита, вычисленная посредством суммирования трех долей, уже определенных выше, следовательно:

$$P_{то} = 234 + 68 + 332 = 634 \text{ Вт}$$

Важно отметить, что суммарные потери мощности равнялись бы 302 Вт, и, следовательно, ожидаемая температура была бы намного ниже, чем действительная, если бы не была принята в расчет доля кабеля (332 Вт).

2.1.4 Пути тока

Положение аппаратуры и проводников может повлиять на изменение потерь мощности в распределительном щите. Полагается устанавливать автоматические выключатели, как показано на Рис. 11, так чтобы пути наибольшего тока были как можно короче. Таким образом, в противоположность тому, что происходит для типа установки, показанного на Рис. 11а, рассеиваемая мощность внутри распределительного щита снижается и обеспечиваются несомненные преимущества с точки зрения нагрева.

Рис. 11

Предложенное расположение:
Наибольший ток (500 А) протекает по кратчайшему пути

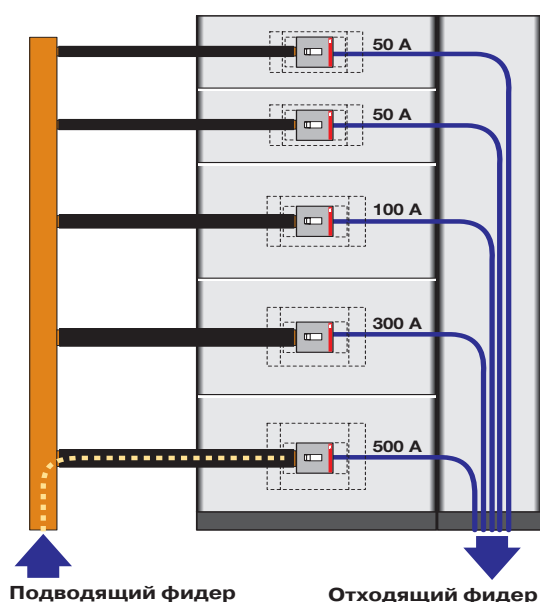
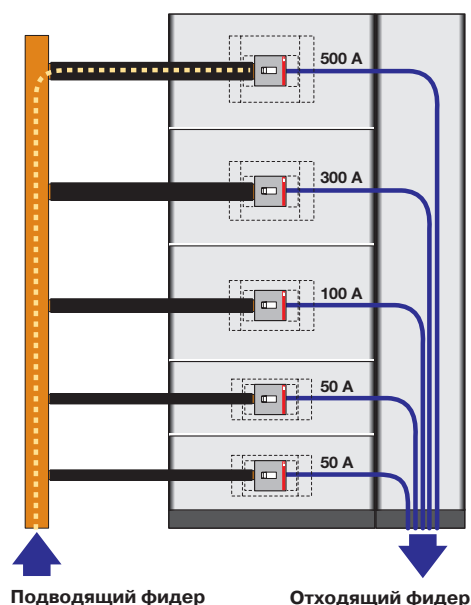


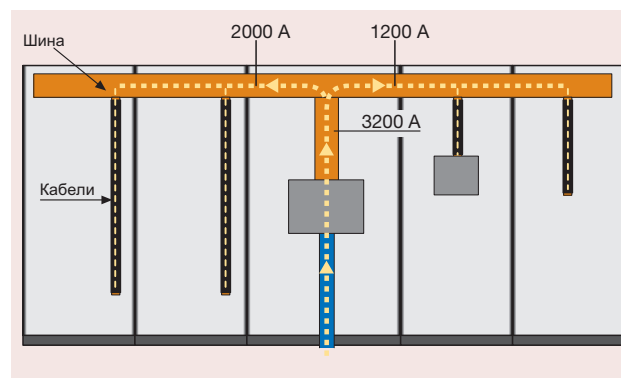
Рис. 11а

Расположение НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:
Наибольший ток (500 А) протекает по самому длинному пути



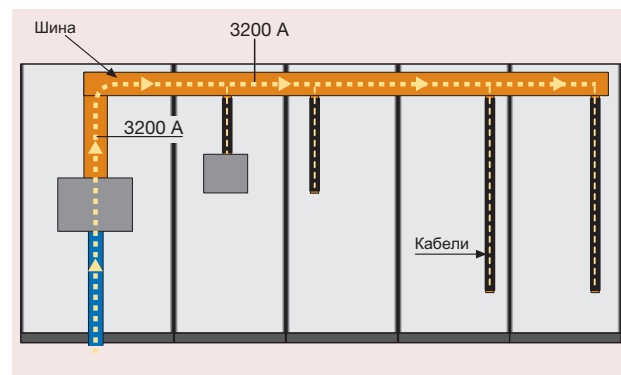
В случае распределительных щитов с несколькими вертикальными отсеками, рекомендуется, по возможности, установить вводной автоматический выключатель в среднем отсеке или же в центре по отношению к распределению нагрузки, как показано на Рис. 12. Таким образом, путем разделения тока на две ветви шинной системы распределительного щита достигается значительное снижение потерь мощности, при том же поперечном сечении по сравнению с конфигурацией, имеющей входящий фидер на обоих концах распределительного щита, как на Рис. 12а, что представляет собой решение, предполагающее циркуляцию наибольших токов.

Рис. 12

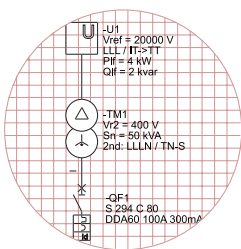


Рекомендуемое решение с точки зрения нагрева

Рис. 12а



Более тяжелое решение с точки зрения нагрева



Серия инженера-конструктора

2.2 Рассеивание выделяемого тепла в распределительных щитах

После анализа основных источников тепла и мер по ограничению образования тепла ниже описываются условия, при которых распределительные щиты могут рассеивать тепло в окружающую среду.

Многие из этих соображений взяты из Стандарта МЭК/TR 60890, в котором приведены формулы и таблицы, где конструктивные характеристики и условия монтажа находятся в связи с превышением температуры при одинаковых потерях мощности. В частности, в данной главе рассматривается вентиляция распределительного щита, его поверхности и их положение, вид внутреннего разделения и степень защиты распределительного щита.

2.2.1 Вентиляция распределительного щита

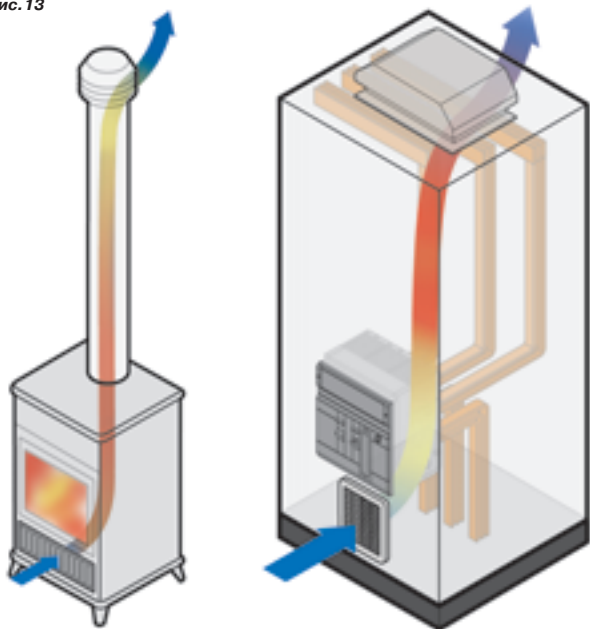
Для улучшения охлаждения распределительного щита необходимо обеспечить (см. Рис. 13) и поддерживать нормальную циркуляцию воздуха в распределительном щите. С этой целью, например, нужно правильно определить размер возможных вентиляционных отверстий и правильно их расположить.

Что касается размеров, Стандарт МЭК/TR 60890 для оценки превышения температуры в низковольтных комплектных распределительных устройствах предписывает в отношении оболочек с вентиляционными отверстиями, чтобы поперечное сечение отверстий для выпуска воздуха было в 1,1 раза больше, чем сечение отверстий для поступления.

Это требование объясняется большим объемом горячего воздуха (выходящего из распределительного щита) по сравнению с холодным воздухом (входящим в щит).

При несоблюдении этого указания поверхность отверстия для поступления воздуха распределительного щита используется не полностью.

Рис. 13

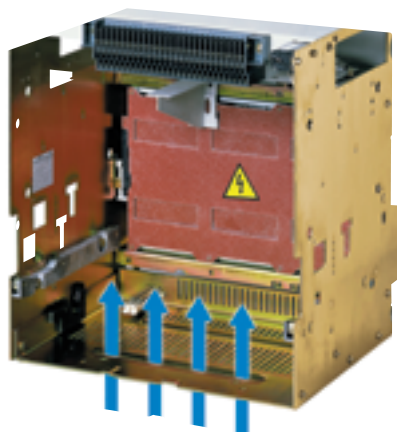


Вентиляционные отверстия должны быть расположены так, чтобы достигался эффект "вытяжной трубы": одно отверстие должно располагаться внизу, на фронтальной части щита, и еще одно отверстие - наверху, на тыльной части, или на "крыше" щита. Важно помнить, что любые отверстия на средней высоте могут снизить эффект "вытяжной трубы", ослабляя тягу воздуха.

Оборудование в распределительном щите должно располагаться так, чтобы из-за сужения сечения потока воздуха не было чрезмерного затруднения циркуляции воздуха.

В случае с выкатными автоматическими выключателями особое внимание следует уделять тому, чтобы не допускать заграждения вентиляционных отверстий в фиксированной части автоматического выключателя (Рис. 14).

Рис. 14



2.2.2 Боковые поверхности и размещение распределительных щитов

Необходимо учитывать, что автоматический выключатель осуществляет теплообмен с окружающим пространством через поверхности (верхняя, нижняя и боковые стенки) и, следовательно, при одинаковом уровне рассеивания мощности внутренними компонентами, чем больше поверхность обмена с внешней средой, и чем лучше условия обмена в зависимости от метода установки, тем большее количество тепла высвобождается. Например, распределительный щит должен быть расположен так, чтобы облегчить циркуляцию воздуха вокруг его наружных поверхностей или же не затруднять ее в значительной мере, тем самым улучшая теплообмен.

Стандарт МЭК/TR 60890, который, как уже было сказано, предлагает метод оценки превышения температуры в распределительных щитах, не учитывает реальную геометрию внешней поверхности щита, но вводит концепцию эффективной поверхности охлаждения "Ae", определяемой как сумма отдельных площадей поверхностей (верхней, передней, боковой....) "A₀", умноженной на коэффициент поверхности "b". Этот коэффициент учитывает рассеивание тепла отдельных поверхностей в соответствии с типом установки оболочки, т.е. различную способность рассеивания тепла в соответствии с положением поверхностей и того, открыты они или закрыты. Значения параметра "b" в отношении различных типов поверхности указаны в Таблице 13.

$$A_e = \sum (A_0 \times b)$$

Таблица 13

Тип установки	Коэффициент поверхности "b"
Открытая верхняя поверхность	1.4
Закрытая верхняя поверхность, например, встроенных оболочек	0.7
Открытые боковые поверхности, например, передняя, задняя и боковые стенки	0.9
Закрытые боковые поверхности, например, задняя сторона на стене	0.5
Боковые поверхности центральных оболочек	0.5
Поверхность пола	Не учитывается

2.2.3 Виды внутреннего разделения в распределительных щитах

Вид разделения означает тип отделения, предусмотренный для различных цепей внутри распределительного щита. Разделение выполняется посредством металлических или изоляционных барьеров или перегородок.

Дополнительная информация о различных видах разделения указана в Приложении В и в Стандарте МЭК 60439-1 (ГОСТ Р 51321.1-2000).

Очевидно, что известные виды разделения, как правило, ограничивают циркуляцию воздуха внутри распределительного щита, влияя на температуру внутри. Для учета этого явления в Таблицах 14 и 15 указан коэффициент "d", который Стандарт МЭК/TR 60890 предлагает использовать в конкретных условиях для определения превышения температуры внутри распределительного щита как функцию количества горизонтальных перегородок в рассматриваемой вертикальной секции.

Таблица 14: Для оболочек без вентиляционных отверстий и с эффективной поверхностью охлаждения $>1, 25\text{m}^2$

Количество горизонтальных перегородок n	Коэффициент d
0	1
1	1.05
2	1.15
3	1.3

Таблица 15: Для оболочек с вентиляционными отверстиями и с эффективной поверхностью охлаждения $>1, 25\text{m}^2$

Количество горизонтальных перегородок n	Коэффициент d
0	1
1	1.05
2	1.10
3	1.15

Из таблиц следует, что горизонтальные перегородки могут вызвать превышение температуры до 30% (3 перегородки без вентиляционных отверстий).

2.2.4 Степень защиты распределительных щитов

Степень защиты IP указывает на защиту оболочки от доступа к опасным частям, от проникновения твердых инородных предметов и воды. Код IP представляет собой систему идентификации степеней защиты на основе предписаний Стандарта МЭК 60529 (ГОСТ Р 14254-96).

Степень защиты распределительного щита определяет его способность рассеивать тепло: чем выше степень защиты, тем меньше тепла рассеивается распределительным щитом. Поэтому не рекомендуется выбирать высокие степени защиты, если в этом нет необходимости. Кроме того, следует помнить, что определенная степень защиты может быть обеспечена различными способами.

Например, защита от вертикального падения капель воды ((IPX1) может быть реализована такими способами, чтобы это не ухудшало рассеивание тепла и чтобы поддерживался "эффект трубы" внутри распределительного щита.

2.3 Рассеивание выделяемого тепла, образующегося на выводах автоматических выключателей

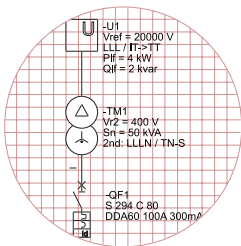
После исследования основных источников энергии и возможностей рассеивания образованного тепла в распределительном щите необходимо провести анализ возможностей увеличения номинального тока автоматического выключателя путем уменьшения явления локального нагрева рядом с выводами.

На практике, если не была проведена оптимизация рассеивания тепла, очень часто имеют место явления локального нагрева, часто ограничивающие максимальный рабочий ток цепи, даже при низких средних температурах в распределительном щите.

Явления, влияющие на рассеивание тепла выводами автоматического выключателя, это, в основном, конвекция (через воздух, движущийся внутри распределительного щита) и теплопроводность (через шины, соединенные с выводами); эти явления должны рассматриваться с учетом используемых типов выводов и исполнения (стационарное, выкатное или вытчное) установленного автоматического выключателя.

2.3.1 Проблемы, связанные с конвекцией

Общий принцип, связанный с явлением конвекции, основан на конвективном движении воздуха, который при нагревании поднимается вверх, состоит в том, что шины должны быть расположены так, чтобы иметь относительно потока воздуха минимальную площадь поперечного сечения, и чтобы поток воздуха проходил по их наибольшей поверхности, т.е. "гребнеобразная" компоновка. Типология автоматических выключателей, наиболее подходящая для этой конфигурации, - это исполнение с вертикальными задними выводами.



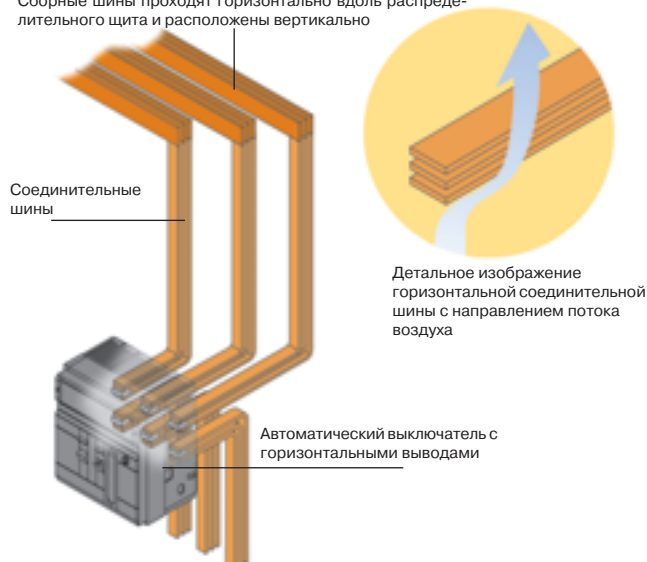
Серия инженера-конструктора

Вот несколько практических соображений относительно способов использования и установки вертикальных задних выводов для автоматических выключателей серии Emax. Использование этих выводов обеспечивает лучшее рассеивание тепла, так как по сравнению с горизонтальными выводами эти выводы имеют меньшее поперечное сечение по отношению к естественному движению воздуха и большую поверхность для теплообмена. Однако одна из основных проблем при использовании вертикальных выводов состоит в их сложном соединении с системой шин, когда она проходит горизонтально вдоль распределительного щита, а секция шин установлена вертикально. Эта проблема отсутствует в случае с той же системой шин, когда выводы автоматического выключателя горизонтальные, так как и шины, и выводы ориентированы по двум простым плоскостям соединения. Эта концепция будет более понятной при обращении к Рис. 15.

Рис. 15

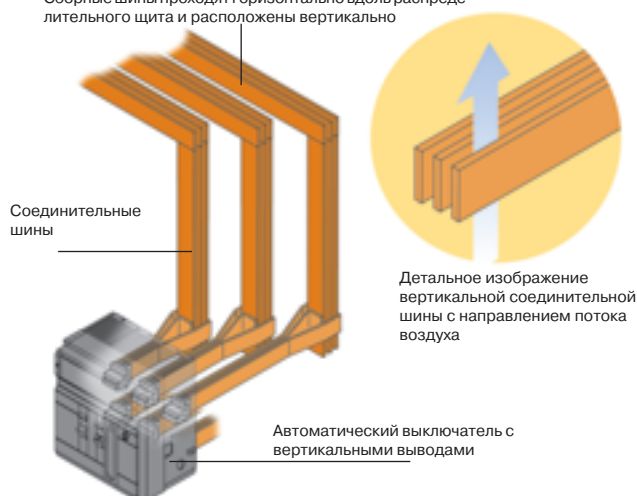
Автоматический выключатель с горизонтальными выводами и вертикальными рабочими шинами

Сборные шины проходят горизонтально вдоль распределительного щита и расположены вертикально



Автоматический выключатель с вертикальными выводами и вертикальными рабочими шинами

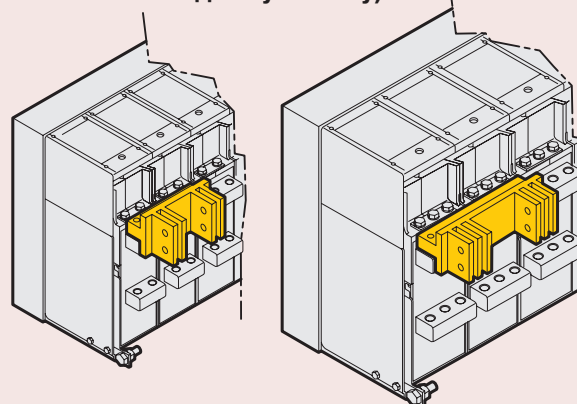
Сборные шины проходят горизонтально вдоль распределительного щита и расположены вертикально



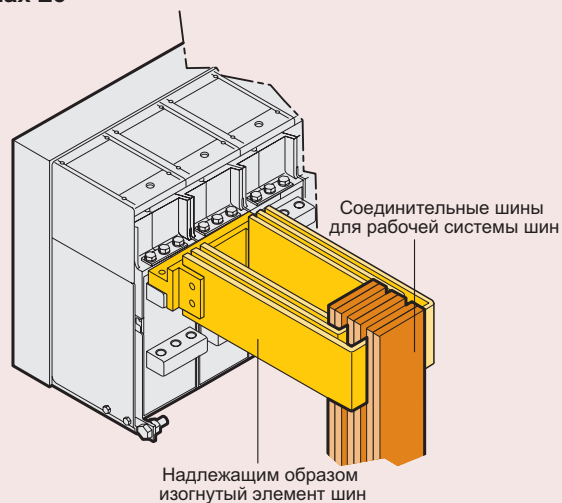
Например, у автоматических выключателей E4 и E6, для облегчения соединения между вертикальными выводами и вертикальными соединительными шинами можно использовать шины с соответствующим изгибом, как показано на Рис. 16.

Рис. 16

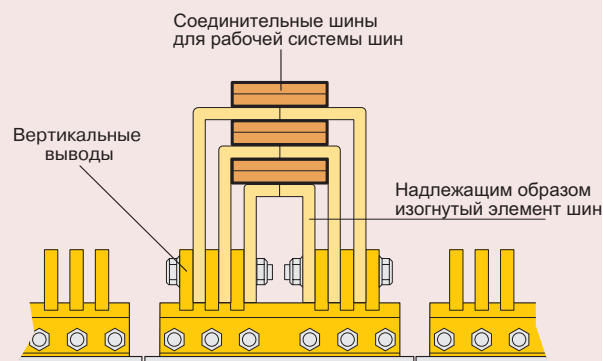
Вертикальные выводы для автоматических выключателей E4 и E6 (узел, относящийся к одному полюсу)



Emax E6

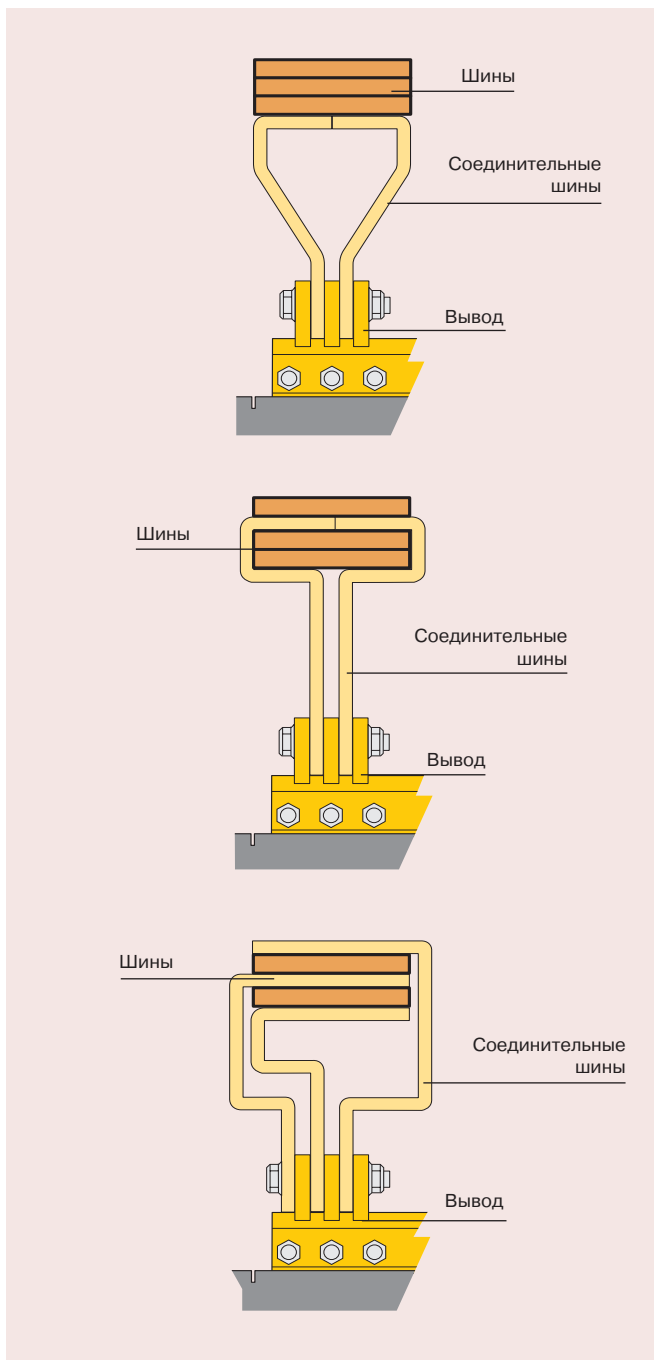


Вид сверху



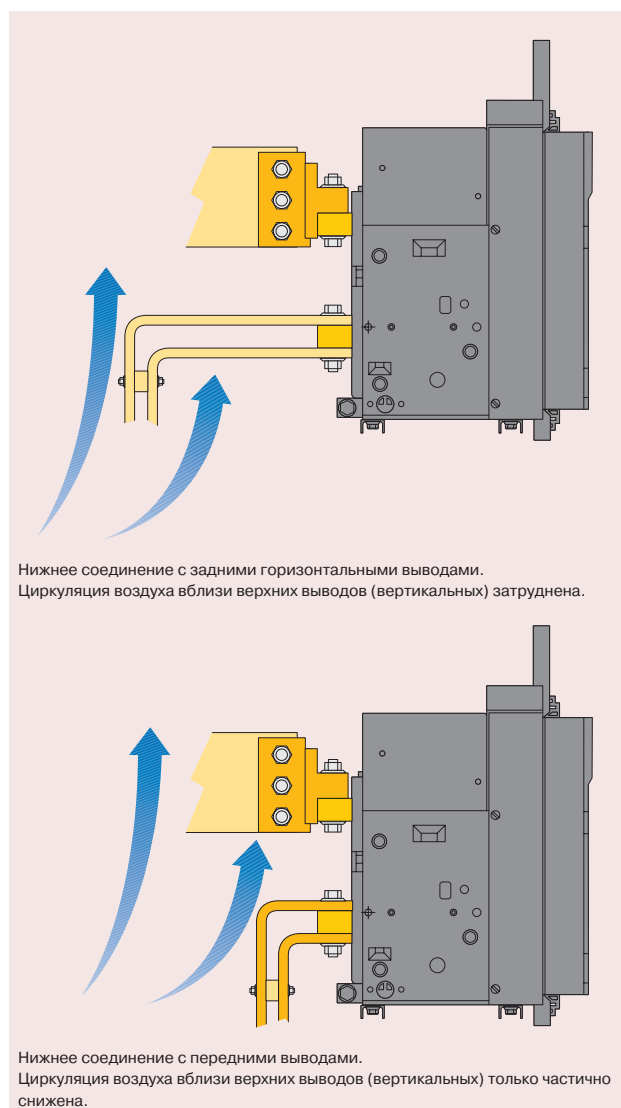
Другой пример на Рис. 17 показывает два других изображения, представляющих возможное решение для соединения вертикальных выводов с системой вертикальных соединительных шин для автоматических выключателей Еmax Е3.

Рис. 17



Напротив, при наличии верхних вертикальных выводов и нижних выводов другого типа или при наличии различных верхних и нижних выводов, используемые решения не должны нарушать циркуляцию воздуха на верхних выводах. Например, как показано на Рис. 18, нижние выводы не должны слишком сильно отклонять поток воздуха, чтобы не препятствовать достижению верхних выводов, иначе будет утрачено преимущество охлаждения посредством конвекции.

Рис. 18

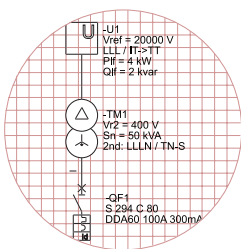


Вообще говоря, для улучшения теплового режима шин и выводов важное значение приобретает расположение шин; здесь приводится пример решений, которые могут быть использованы.

Следует учитывать, что чем больше расстояние между шинами, тем больше тепла они рассеивают, а верхний средний вывод в этом смысле обычно наиболее проблематичен.

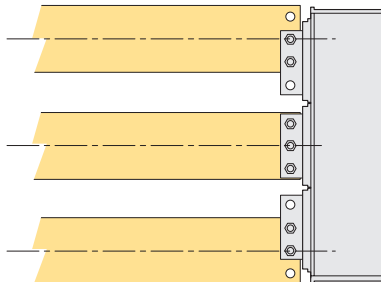
Поэтому рекомендуется разделять и поддерживать на возможно большем расстоянии друг от друга соединительные шины (от сборных шин до выводов автоматического выключателя) с тем, чтобы не увеличивался нагрев.

Например, как показано на Рис. 19, в случае трехполюсных автоматических выключателей внешние соединения могут быть смещены относительно выводов, так что расстояние увеличивается.



Серия инженера-конструктора

Рис. 19

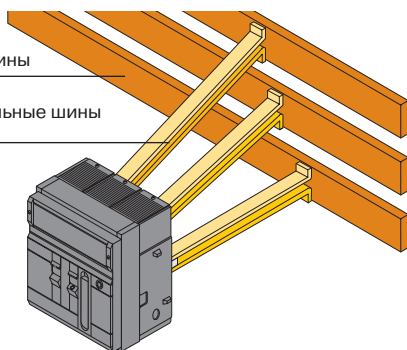


В случае соединения автоматических выключателей посредством шинных систем с тремя фазами при вертикальном расположении рекомендуется, чтобы расположение с интервалами трех фаз начиналось как можно ближе к автоматическому выключателю, такое решение показано на Рис. 20.

Рис. 20

Сборные шины

Соединительные шины



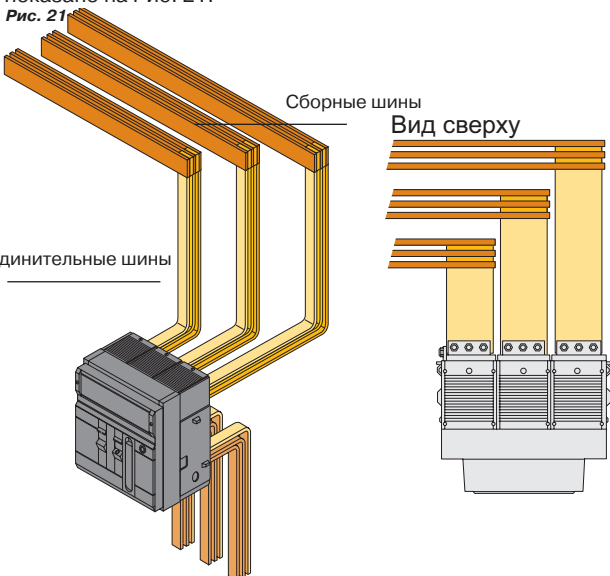
Как уже упоминалось, верхние выводы и, особенно, верхний средний вывод обычно, вследствие своего положения, достигают самых высоких температур. Поэтому можно принять особые меры для улучшения теплообмена этих выводов, например, путем удлинения горизонтальной части верхних соединительных шин по сравнению с нижними шинами, как показано на Рис. 21.

Рис. 21

Сборные шины

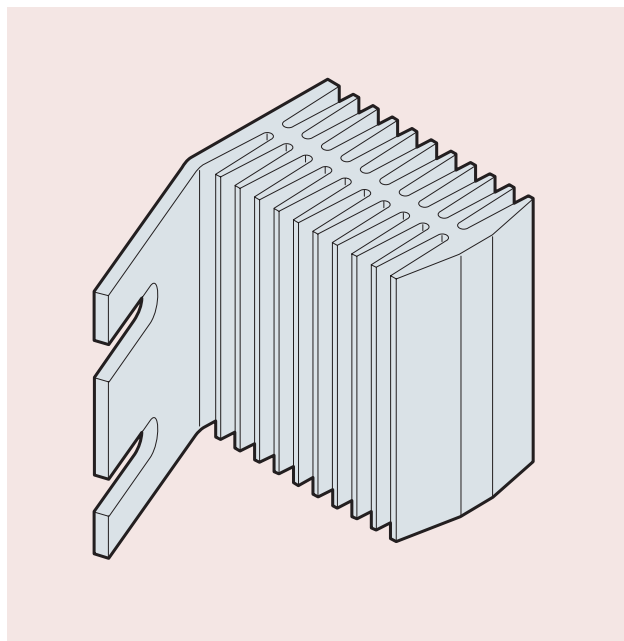
Вид сверху

Соединительные шины



Дальнейшее увеличение номинального тока цепей может быть достигнуто путем установки нескольких рассеивателей (см. Рис. 22) на соединительных проводниках – между автоматическим выключателем и шинной системой – для улучшения рассеивания тепла или путем обработки шин и рассеивателей специальными красками, которые позволяют усилить излучение тепла, не создавая, с другой стороны, тепловой изоляции поверхности.

Рис. 22



2.3.2 Проблемы, связанные с теплопроводностью соединительных шин и способы их решения

Кроме теплообмена посредством конвекции, выводы автоматического выключателя также выделяют тепло в шины или кабели, соединенные с ними. В частности, помимо того, что соединительные шины проводят ток, они доставляют тепло на значительные расстояния от выводов. Поэтому при определении их размеров и положения необходимо учитывать эту двойную функцию.

Благодаря теплопроводности теплообмен возрастает как в том случае, когда увеличено поперечное сечение, через которое осуществляется теплообмен (отрезок контакта между кабелями или соединительными шинами и выводами автоматического выключателя), так и в случае увеличения разности температур соприкасающихся тел, участвующих в теплообмене. Отсюда следует, что, в свою очередь, соединительные шины должны эффективно рассеивать тепло для поддержания своей температуры на низком уровне. Чтобы получить соединение, обеспечивающее достаточный теплообмен между выводами и системой распределения щита, компания АББ указывает минимальную площадь поперечного сечения кабелей и шин, которые необходимо применять.

В Таблицах 16 и 17, соответственно, приводятся данные по автоматическим выключателям в литом корпусе серии Tmax и автоматическим выключателям серии Emax. Значения площади поперечного сечения кабелей и шин в Таб-

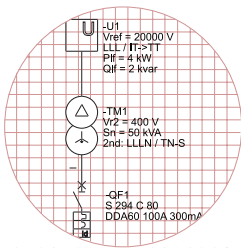
лицах 16 и 17 - это значения, применяемые для определения номинального тока автоматических выключателей на открытом воздухе в соответствии со Стандартом МЭК 60947-2.

Таблица 16

Тип автоматического выключателя	In	Кабели	Шины
Tmax	[A]	[n //] x [мм²]	[n //] x [мм x мм]
T2	<=8	1	
T2-T4	10	1,5	
T1-T2	16	2,5	
T1-T2-T4	20	2,5	
T1-T2-T4	25	4	
T1-T2-T4	32	6	
T1-T2-T4	40	10	
T1-T2-T4	50	10	
T1-T2-T3-T4	63	16	
T1-T2-T3-T4	80	25	
T1-T2-T3-T4	100	35	
T1-T2-T3-T4	125	50	
T1-T2-T3-T4	160	70	
T3-T4	200	95	20x5
T3-T4	250	120	25x5
T4-T5	320	185	40x5
T5	400	240	50x5
T5	500	2x150	2x30x5
T5-T6	630	2x185	2x40x5
T6	800	2x240	2x50x5
T6-T7	1000	3x240	2x60x5
T7	1250	4x240	2x80x5
T7	1600	5x240	2x100x5

Таблица 17

Автоматический выключатель	Вертикальные выводы	Передние горизонтальные выводы
Emax	[n //] x [мм x мм]	[n //] x [мм x мм]
E1B/N 08	1x(60x10)	1x(60x10)
E1B/N 12	1x(80x10)	2x(60x8)
E2B/N 12	1x(60x10)	1x(60x10)
E2B/N 16	2x(60x10)	2x(60x10)
E2B/N 20	3x(60x10)	3x(60x10)
E2L 12	1x(60x10)	1x(60x10)
E2L 16	2x(60x10)	2x(60x10)
E3S/H 12	1x(60x10)	1x(60x10)
E3S/H 16	1x(100x10)	1x(100x10)
E3S/H 20	2x(100x10)	2x(100x10)
E3N/S/H 25	2x(100x10)	2x(100x10)
E3N/S/H 32	3x(100x10)	3x(100x10)
E3L20	2x(100x10)	2x(100x10)
E3L 25	2x(100x10)	2x(100x10)
E4H 32	3x(100x10)	3x(100x10)
E4S/H 40	4x(100x10)	6x(60x10)
E6V 32	3x(100x10)	3x(100x10)
E6V 40	4x(100x10)	4x(100x10)
E6H/V 50	6x(100x10)	6x(100x10)
E6H/V 63	7x(100x10)	-----



Серия инженера-конструктора

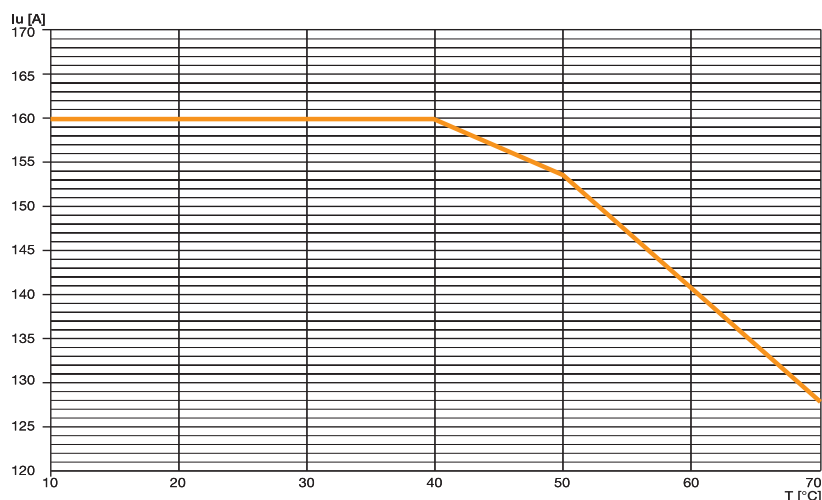
2.3.3 Номинальный ток автоматических выключателей и шин

В завершении главы на Рис. 23 показаны графики зависимости номинального длительного тока (I_u) автоматических выключателей в литом корпусе серии Tmax с электронными расцепителями, в зависимости от различных температур

Рис. 23

T2 160

Стационарный



Примечание: Во втычном исполнении максимальная настройка снижается на 10 %.

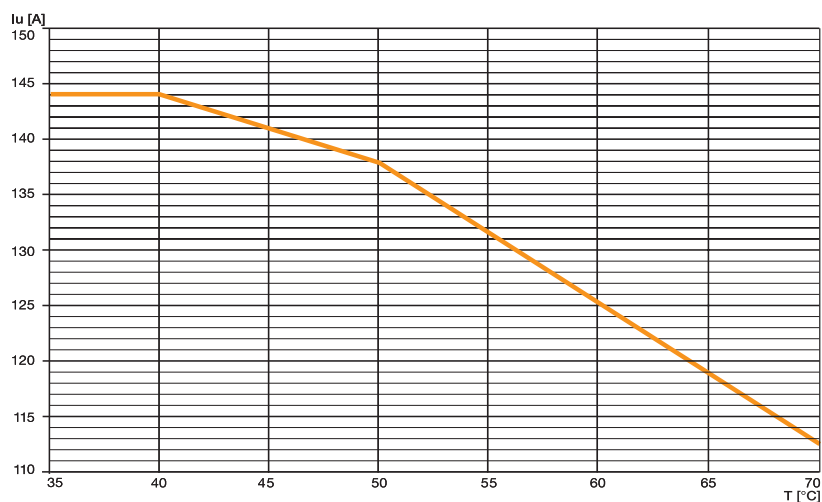
F = Передние плоские выводы
FC Cu = Передние выводы для медных кабелей

EF = Передние удлиненные выводы
FC CuAl = Передние выводы для кабелей CuAl

ES = Передние удлиненные расширенные выводы
R = Задние выводы

T2 160

Втычной



F = Передние плоские выводы
FC Cu = Передние выводы для медных кабелей

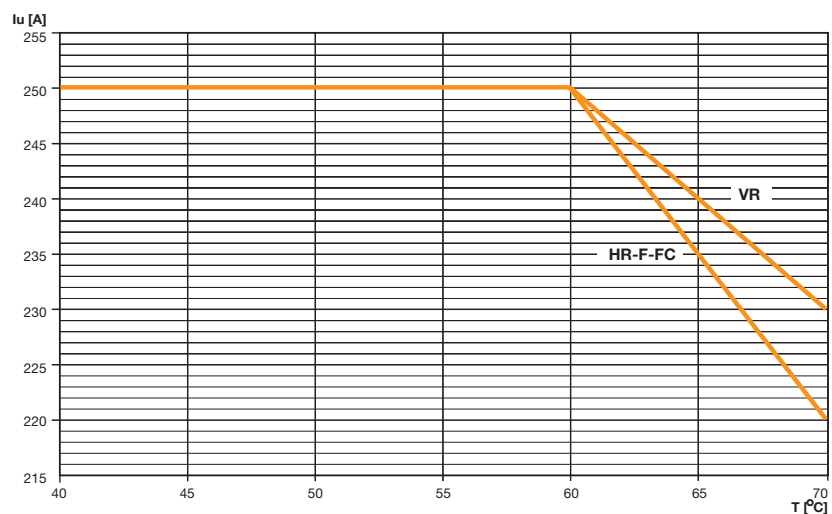
EF = Передние удлиненные выводы
FC CuAl = Передние выводы для кабелей CuAl

ES = Передние удлиненные расширенные выводы
R = Задние выводы

Примечание: Во втычном исполнении максимальная настройка снижается на 10 %.

T4 250

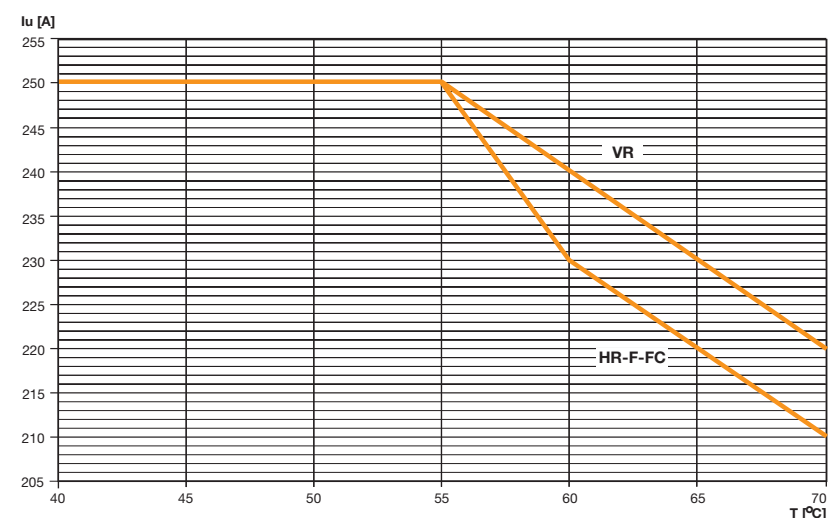
Стационарный



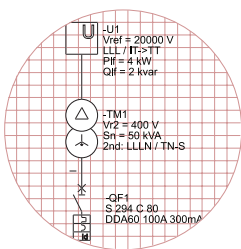
FC = Передние выводы для кабелей F = Передние плоские выводы HR = Задние плоские
VR = Задние плоские вертикальные выводы горизонтальные выводы

T4 250

Втычной / Выкатной



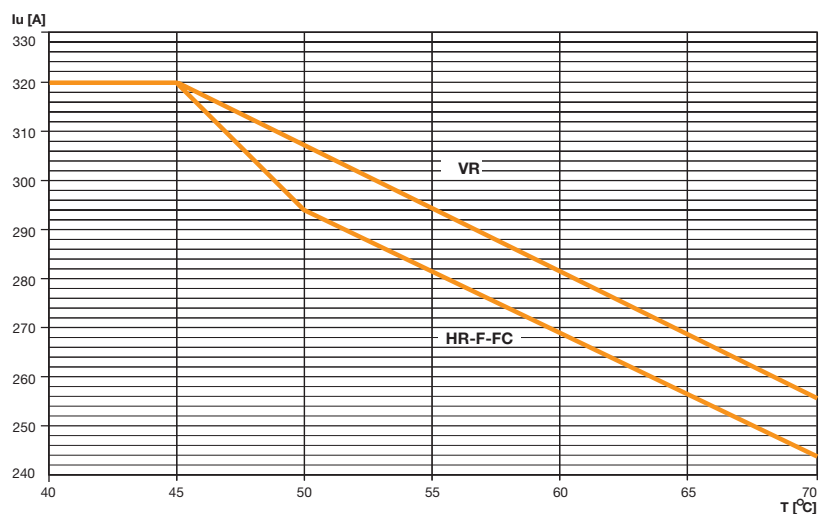
FC = Передние выводы для кабелей F = Передние плоские выводы HR = Задние плоские
VR = Задние плоские вертикальные выводы горизонтальные выводы



Серия инженера-конструктора

T4 320

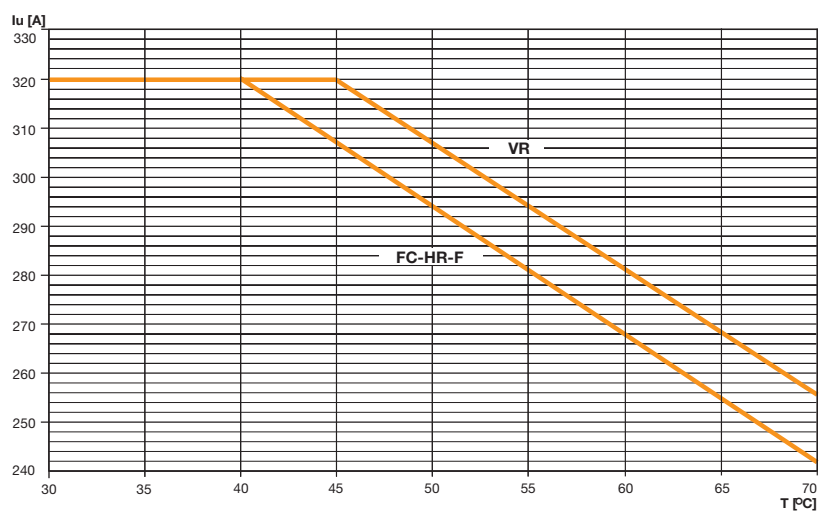
Стационарный



FC = Передние выводы для кабелей F = Передние плоские выводы HR = Задние плоские горизонтальные выводы
VR = Задние плоские вертикальные выводы

T4 320

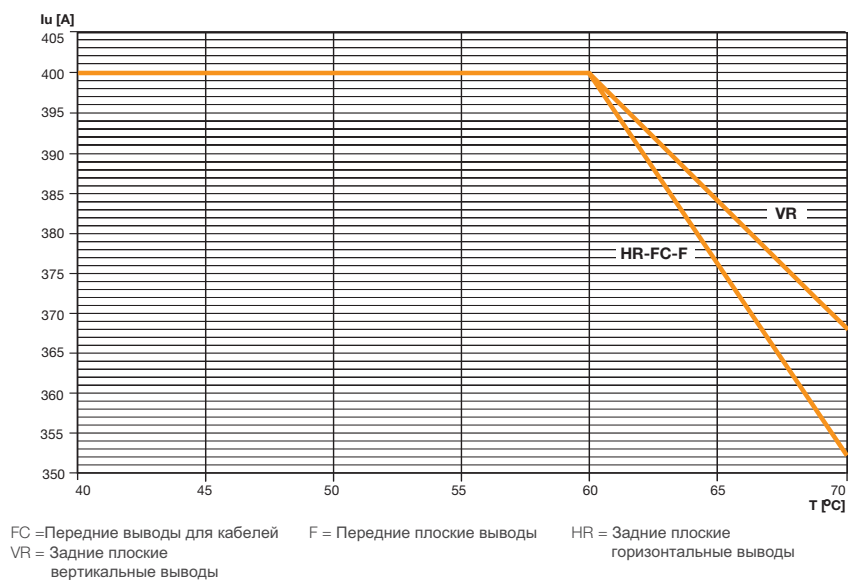
Втычной / Выкатной



FC = Передние выводы для кабелей F = Передние плоские выводы HR = Задние плоские горизонтальные выводы
VR = Задние плоские вертикальные выводы

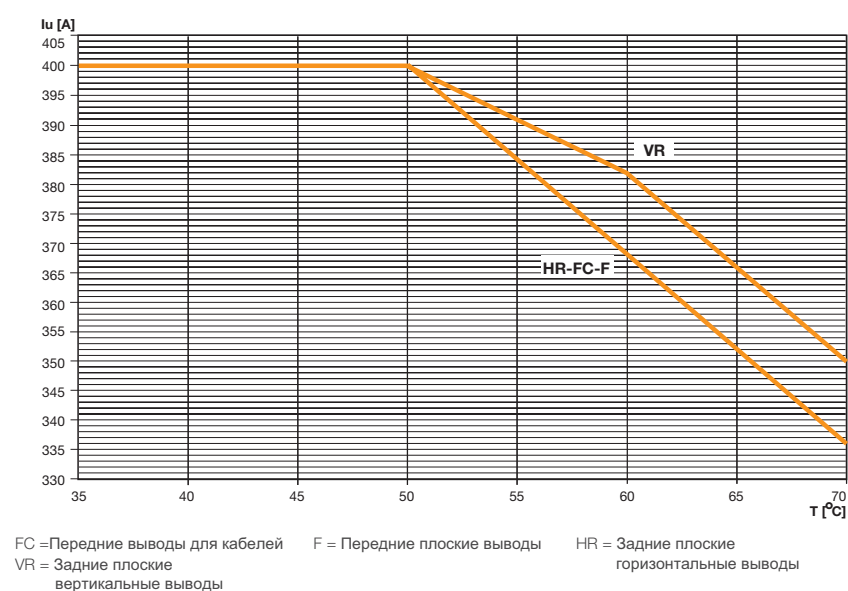
T5 400

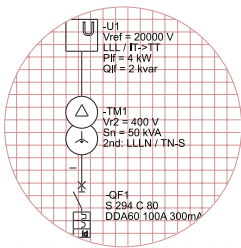
Стационарный



T5 400

Втычной / Выкатной

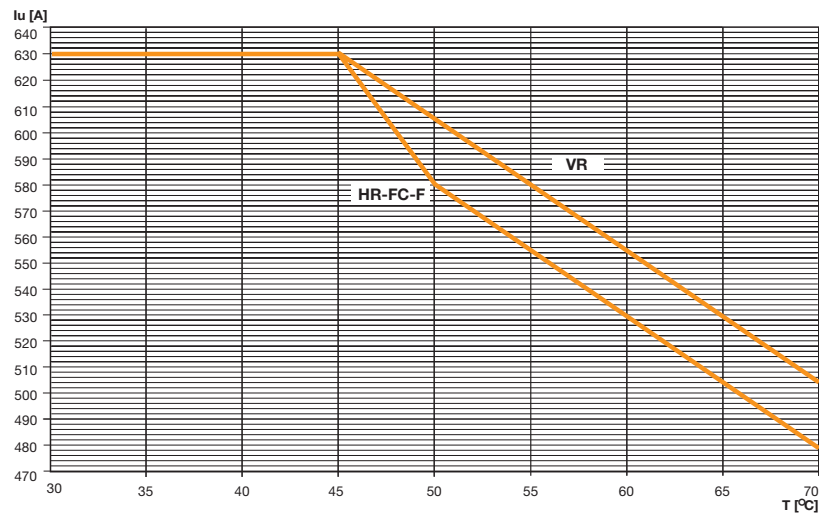




Серия инженера-конструктора

T5 630

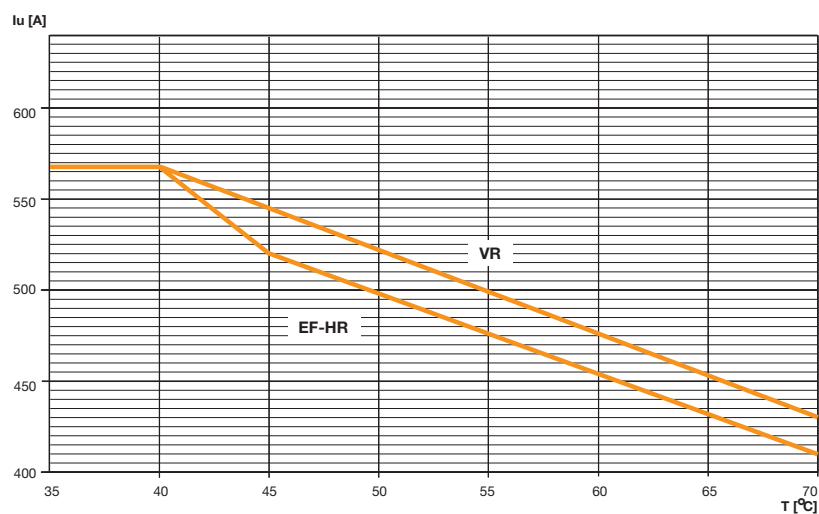
Стационарный



FC = Передние выводы для кабелей
VR = Задние плоские вертикальные выводы
F = Передние плоские выводы
HR = Задние плоские горизонтальные выводы

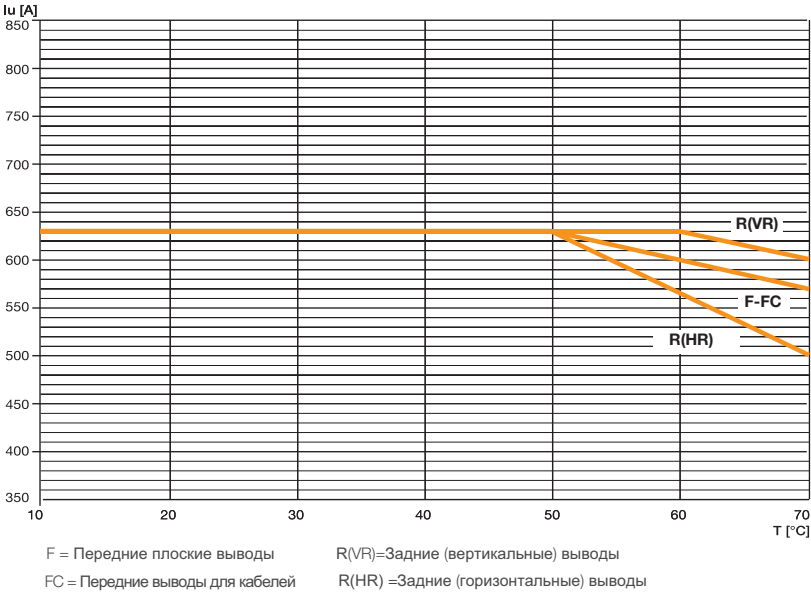
T5 630

Втычной / Выкатной

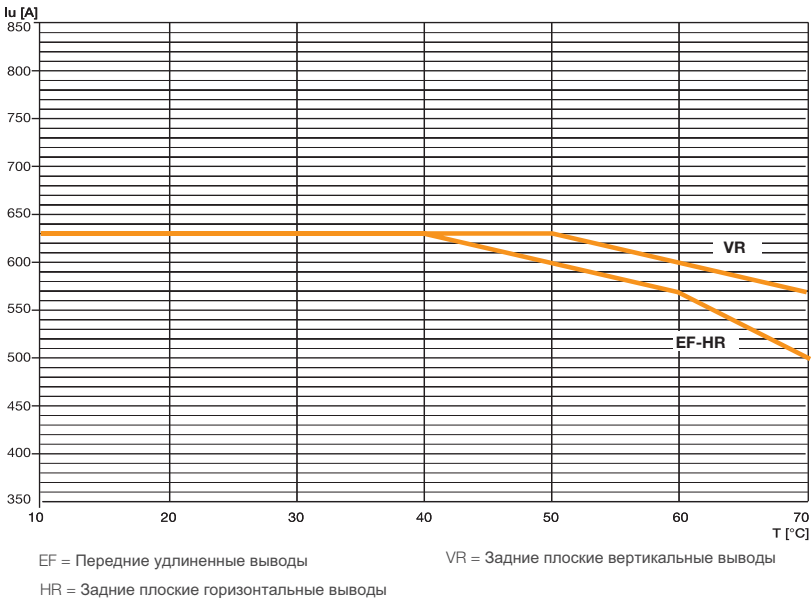


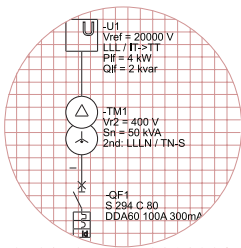
EF = Передние удлиненные выводы
VR = Задние плоские вертикальные выводы
HR = Задние плоские горизонтальные выводы
R = Задние плоские горизонтальные выводы

T6 630
Стационарный



T6 630
Выкатной

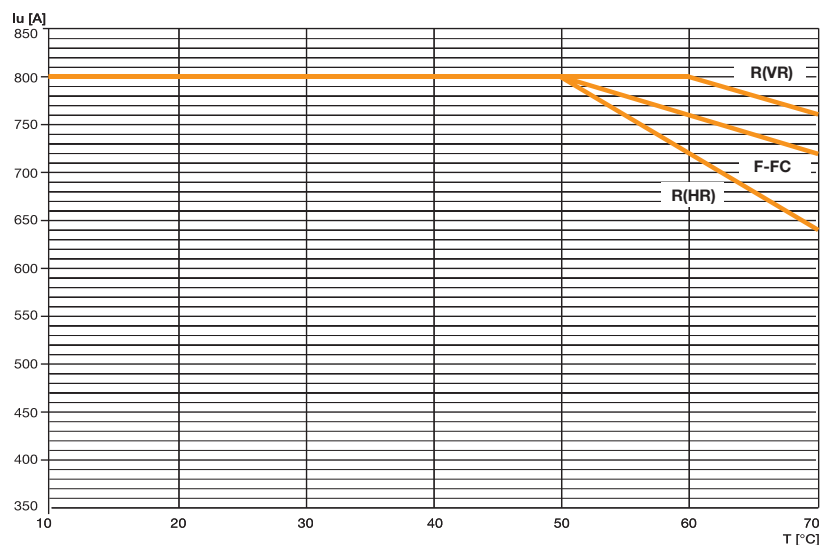




Серия инженера-конструктора

T6 800

Стационарный



F = Передние плоские выводы

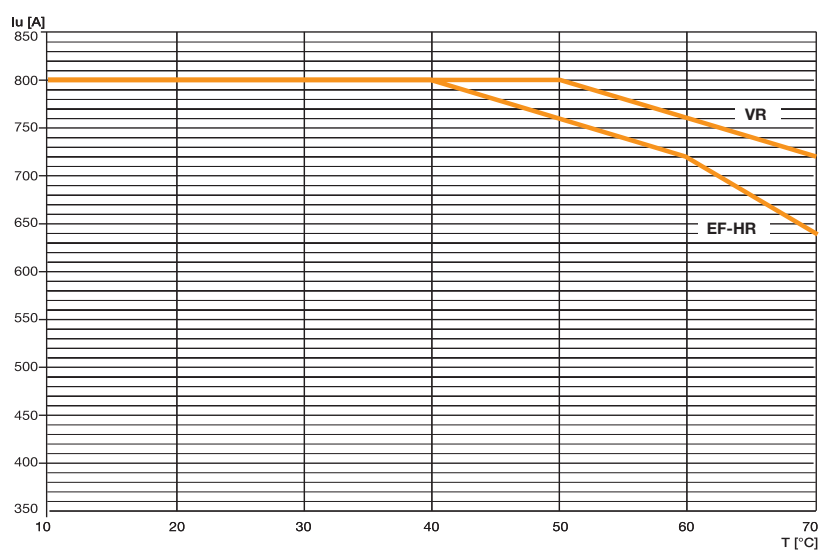
R(VR)=Задние (вертикальные) выводы

FC = Передние выводы для кабелей

R(HR) =Задние (горизонтальные) выводы

T6 800

Выкатной



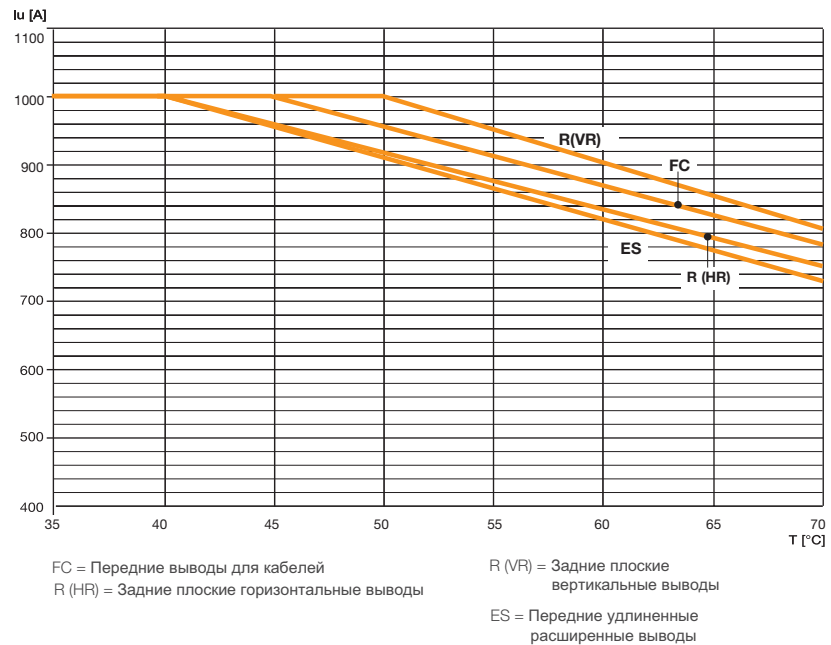
EF = Передние удлиненные выводы

VR = Задние плоские вертикальные выводы

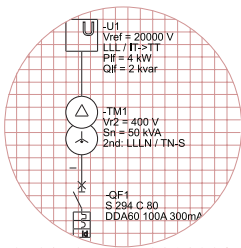
HR = Задние плоские горизонтальные выводы

T6 1000

Стационарный



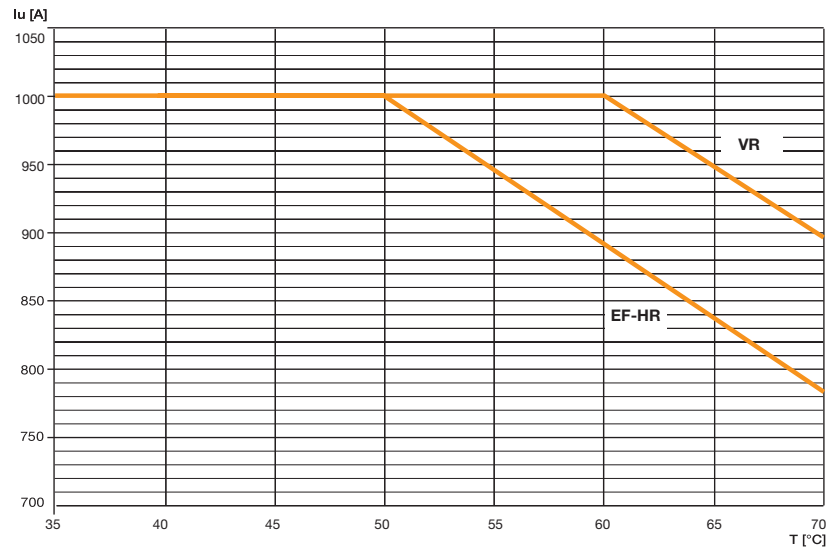
2 Рекомендации по увеличению номинального тока у автоматических выключателей в распределительных щитах



Серия инженера-конструктора

T7 V 1000

Стационарный



EF = Расширенные передние выводы

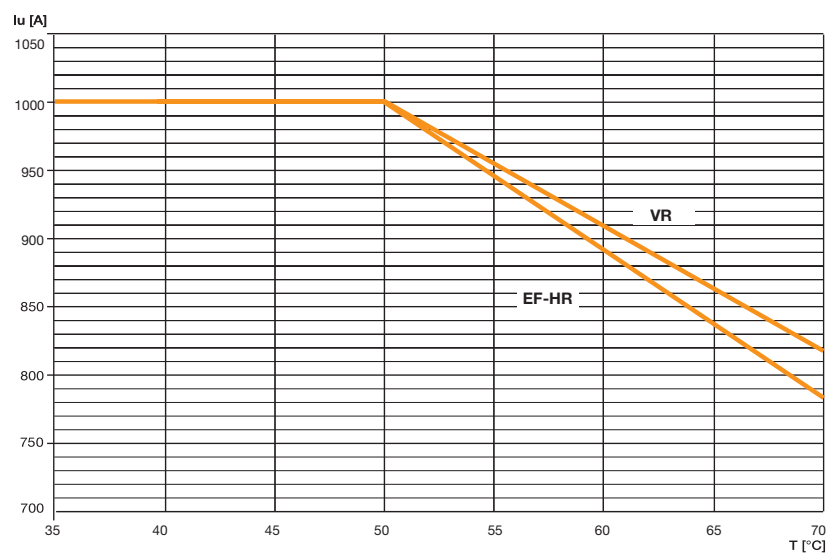
HR = Задние плоские горизонтальные выводы

VR = Задние плоские вертикальные выводы

Примечание: Для номинальных параметров менее 1000 А Tmax T7 не подвержен какому-либо температурному снижению.

T7 V 1000

Выкатной



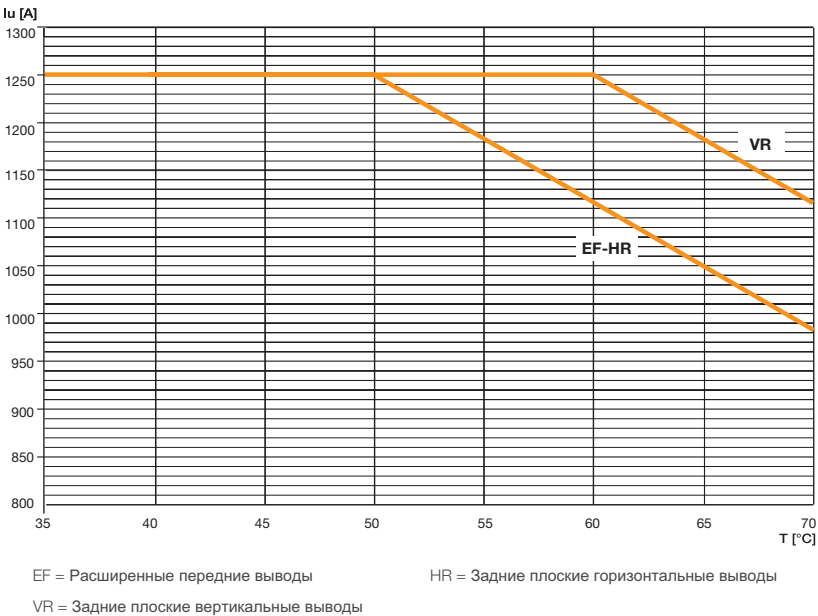
EF = Расширенные передние выводы

HR = Задние плоские горизонтальные выводы

VR = Задние плоские вертикальные выводы

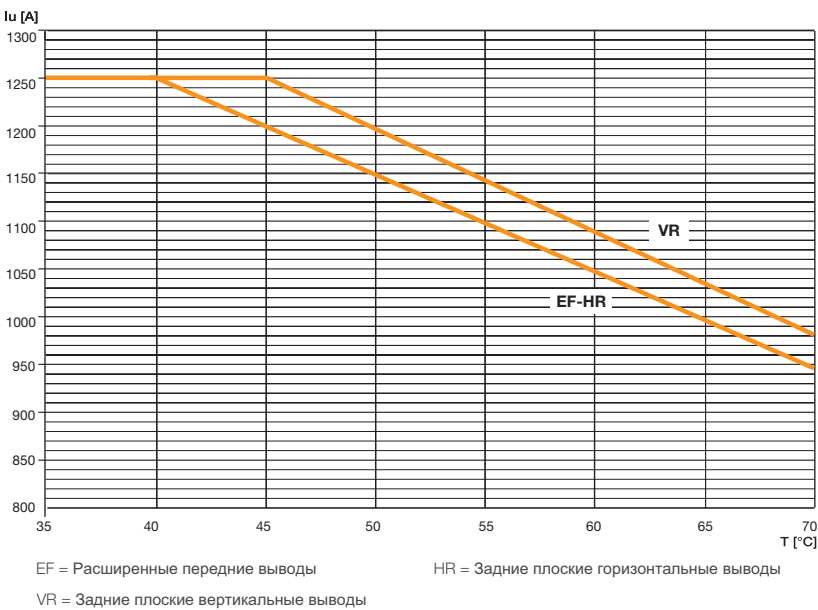
T7 S,H,L, 1250

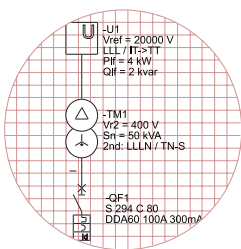
Стационарный



T7 V 1250

Стационарный

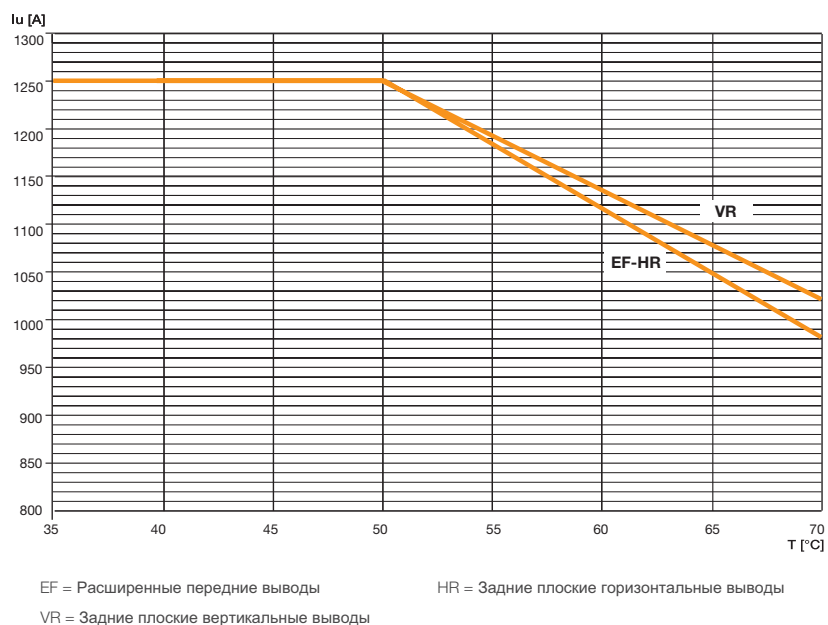




Серия инженера-конструктора

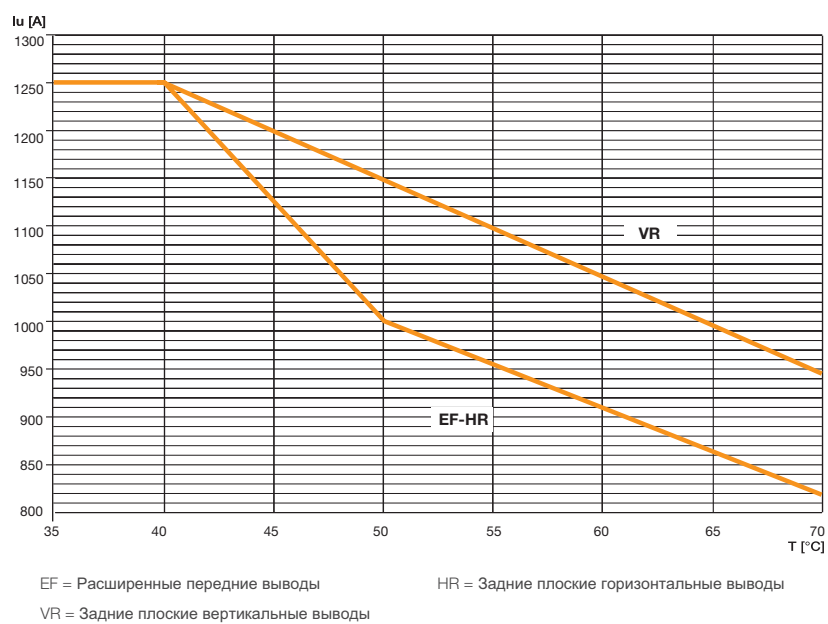
T7 S,H,L, 1250

Выкатной



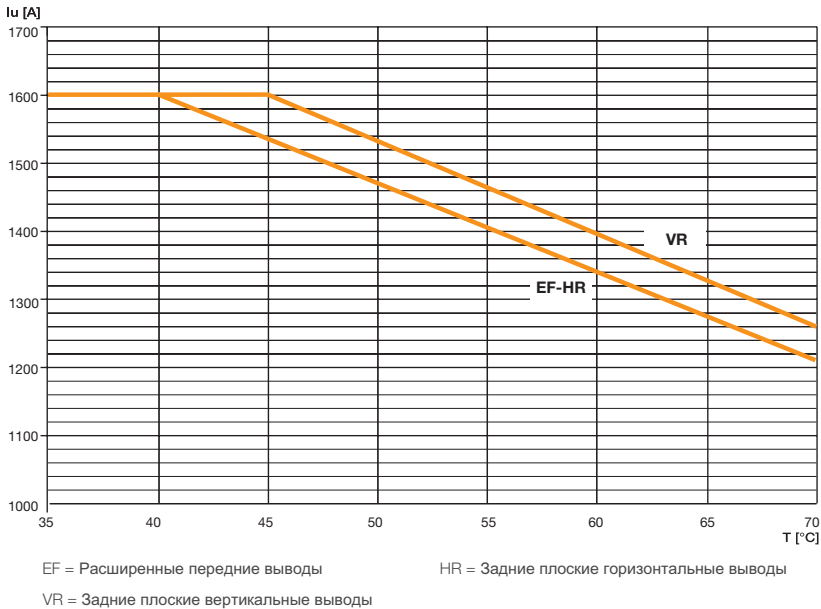
T7 V 1250

Выкатной



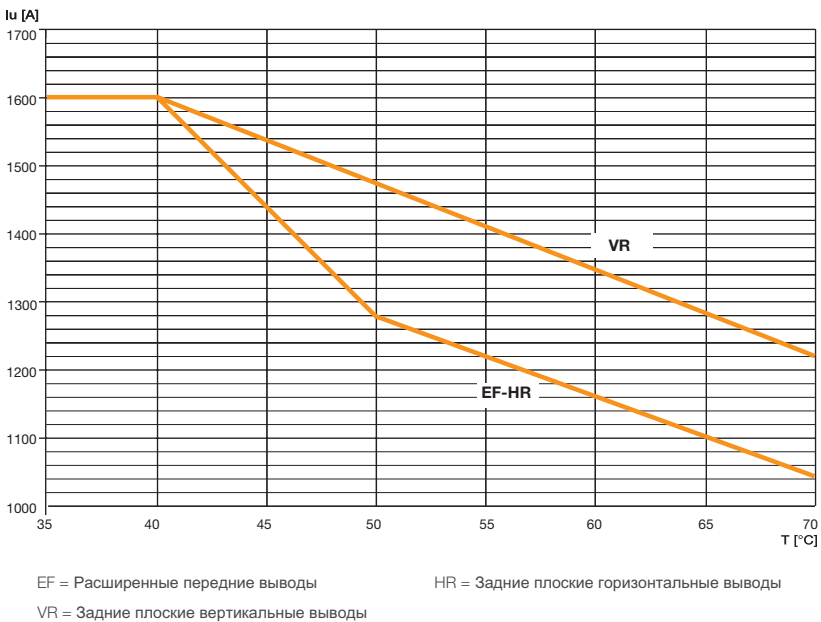
T7 S,H,L, 1600

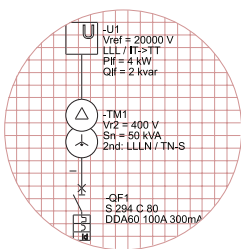
Стационарный



T7 S,H,L, 1600

Выкатной





Серия инженера-конструктора

Таблица 18

Tmax T1 и T1 1P (*)

In [A]	10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.
16	13	18	12	18	12	17	11	16	11	15	10	14	9	13
20	16	23	15	22	15	21	14	20	13	19	12	18	11	16
25	20	29	19	28	18	26	18	25	16	23	15	22	14	20
32	26	37	25	35	24	34	22	32	21	30	20	28	18	26
40	32	46	31	44	29	42	28	40	26	38	25	35	23	33
50	40	58	39	55	37	53	35	50	33	47	31	44	28	41
63	51	72	49	69	46	66	44	63	41	59	39	55	36	51
80	64	92	62	88	59	84	56	80	53	75	49	70	46	65
100	81	115	77	110	74	105	70	100	66	94	61	88	57	81
125	101	144	96	138	92	131	88	125	82	117	77	109	71	102
160	129	184	123	176	118	168	112	160	105	150	98	140	91	130

(*) Для автоматических выключателей T1 1P (оснащенных электромагнитным расцепителем TMF) учитывайте только колонку, соответствующую максимальной регулировке расцепителей TMD.

Tmax T2

In [A]	10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.
1,6	1,3	1,8	1,2	1,8	1,2	1,7	1,1	1,6	1	1,5	1	1,4	0,9	1,3
2	1,6	2,3	1,5	2,2	1,5	2,1	1,4	2	1,3	1,9	1,2	1,7	1,1	1,6
2,5	2	2,9	1,9	2,8	1,8	2,6	1,8	2,5	1,6	2,3	1,5	2,2	1,4	2
3,2	2,6	3,7	2,5	3,5	2,4	3,4	2,2	3,2	2,1	3	1,9	2,8	1,8	2,6
4	3,2	4,6	3,1	4,4	2,9	4,2	2,8	4	2,6	3,7	2,4	3,5	2,3	3,2
5	4	5,7	3,9	5,5	3,7	5,3	3,5	5	3,3	4,7	3	4,3	2,8	4
6,3	5,1	7,2	4,9	6,9	4,6	6,6	4,4	6,3	4,1	5,9	3,8	5,5	3,6	5,1
8	6,4	9,2	6,2	8,8	5,9	8,4	5,6	8	5,2	7,5	4,9	7	4,5	6,5
10	8	11,5	7,7	11	7,4	10,5	7	10	6,5	9,3	6,1	8,7	5,6	8,1
12,5	10,1	14,4	9,6	13,8	9,2	13,2	8,8	12,5	8,2	11,7	7,6	10,9	7,1	10,1
16	13	18	12	18	12	17	11	16	10	15	10	14	9	13
20	16	23	15	22	15	21	14	20	13	19	12	17	11	16
25	20	29	19	28	18	26	18	25	16	23	15	22	14	20
32	26	37	25	35	24	34	22	32	21	30	19	28	18	26
40	32	46	31	44	29	42	28	40	26	37	24	35	23	32
50	40	57	39	55	37	53	35	50	33	47	30	43	28	40
63	51	72	49	69	46	66	44	63	41	59	38	55	36	51
80	64	92	62	88	59	84	56	80	52	75	49	70	45	65
100	80	115	77	110	74	105	70	100	65	93	61	87	56	81
125	101	144	96	138	92	132	88	125	82	117	76	109	71	101
160	129	184	123	178	118	168	112	160	105	150	97	139	90	129

(*) Для втычных автоматических выключателей следует учитывать снижение номинальных характеристик на 10%.

Tmax T3

In [A]	10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.
63	51	72	49	69	46	66	44	63	41	59	38	55	35	51
80	64	92	62	88	59	84	56	80	52	75	48	69	45	64
100	80	115	77	110	74	105	70	100	65	93	61	87	56	80
125	101	144	96	138	92	132	88	125	82	116	76	108	70	100
160	129	184	123	176	118	168	112	160	104	149	97	139	90	129
200	161	230	154	220	147	211	140	200	130	186	121	173	112	161
250	201	287	193	278	184	263	175	250	163	233	152	216	141	201

(*) Для втычных автоматических выключателей следует учитывать снижение номинальных характеристик на 10%.

Tmax T4

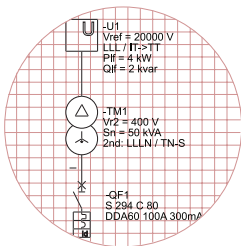
In [A]	10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.
20	19	27	18	24	16	23	14	20	12	17	10	15	8	13
32	26	43	24	39	22	36	19	32	16	27	14	24	11	21
50	37	62	35	58	33	54	30	50	27	46	25	42	22	39
80	59	98	55	92	52	86	48	80	44	74	40	66	32	58
100	83	118	80	113	74	106	70	100	66	95	59	85	49	75
125	103	145	100	140	94	134	88	125	80	115	73	105	63	95
160	130	185	124	176	118	168	112	160	106	150	100	104	90	130
200	162	230	155	220	147	210	140	200	133	190	122	175	107	160
250	200	285	193	275	183	262	175	250	168	240	160	230	150	220

Tmax T5

In [A]	10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.
320	260	368	245	350	234	335	224	320	212	305	200	285	182	263
400	325	465	310	442	295	420	280	400	265	380	250	355	230	325
500	435	620	405	580	380	540	350	500	315	450	280	400	240	345

Tmax T6

In [A]	10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.	МИН.	МАКС.
630	520	740	493	705	462	660	441	630	405	580	380	540	350	500
800	685	965	640	905	605	855	560	800	520	740	470	670	420	610



Серия инженера-конструктора

Таблица 19

X1 выкатной – задние горизонтальные выводы

Температура [°C]	X1 630		X1 1800		X1 1000		X1 1250		X1 1600	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
20	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
30	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
40	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
45	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
50	100	630	100	800	100	1000	100	1250	97	1550
55	100	630	100	800	100	1000	100	1250	94	1500
60	100	630	100	800	100	1000	100	1250	93	1480

X1 выкатной – задние вертикальные выводы

Температура [°C]	X1 630		X1 1800		X1 1000		X1 1250		X1 1600	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
20	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
30	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
40	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
45	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
50	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
55	100	630	100	800	100	1000	100	1250	98	1570
60	100	630	100	800	100	1000	100	1250	95	1520

SACE Emax E1

Температура [°C]	E1 800		E1 1000		E1 1250		E1 1600	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
20	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
30	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
40	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
45	100	800	100	1000	100	1250	98	1570
50	100	800	100	1000	100	1250	96	1530
55	100	800	100	1000	100	1250	94	1500
60	100	800	100	1000	100	1250	92	1470
65	100	800	100	1000	99	1240	89	1430
70	100	800	100	1000	98	1230	87	1400

SACE Emax E2

Температура [°C]	E2 800		E2 1000		E2 1250		E2 1600		E2 2000	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
20	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
30	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
40	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
45	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
50	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	97	1945
55	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	94	1885
60	100	800	100	1000	100	1250	98	1570	91	1825
65	100	800	100	1000	100	1250	96	1538	88	1765
70	100	800	100	1000	100	1250	94	1510	85	1705

SACE Emax E3

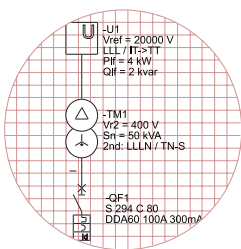
Температура [°C]	E3 800		E3 1000		E3 1250		E3 1600		E3 2000		E3 2500		E3 3200	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
20	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
30	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
40	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
45	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
50	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	97	3090
55	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	93	2975
60	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	89	2860
65	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	97	2425	86	2745
70	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	94	2350	82	2630

SACE Emax E4

Температура [°C]	E4 3200		E4 4000	
	%	[A]	%	[A]
10	100	3200	100	4000
20	100	3200	100	4000
30	100	3200	100	4000
40	100	3200	100	4000
45	100	3200	100	4000
50	100	3200	98	3900
55	100	3200	95	3790
60	100	3200	92	3680
65	98	3120	89	3570
70	95	3040	87	3460

SACE Emax E6

Температура [°C]	E6 3200		E6 4000		E6 5000		E6 6300	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
20	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
30	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
40	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
45	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
50	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
55	100	3200	100	4000	100	5000	98	6190
60	100	3200	100	4000	98	4910	96	6070
65	100	3200	100	4000	96	4815	94	5850
70	100	3200	100	4000	94	4720	92	5600



Серия инженера-конструктора

Что касается малогабаритных автоматических выключателей в литом корпусе, не существует значительной разницы между различными типами выводов, в то время как у крупногабаритных автоматических выключателей в литом корпусе (начиная с T4) предпочтение следует отдавать задним вертикальным выводам в сравнении с другими типами, если автоматический выключатель устанавливается в вертикальном положении. В общем случае, однако, рекомендуется стационарное исполнение вместо выкатного и втычного исполнений. Если автоматический выключатель был установлен в горизонтальном положении, для определения его номинального тока следует обращаться к самой нижней кривой на графиках.

В отношении воздушных автоматических выключателей серии Emax, характеристики задних горизонтальных выводов аналогичны характеристикам передних выводов.

Способность рассеивать больше тепла однозначно наблюдается у задних вертикальных выводов.

Аналогичным образом, в качестве примера, в Таблице 20 указаны различные значения номинального тока, приведенные в Стандарте DIN 43671, для медных проводников прямоугольного поперечного сечения в установках в помещении, где коэффициент теплопередачи путем излучения принимается равным 0,4 для неокрашенных шин и 0,9 для окрашенных шин.

Как можно видеть из таблицы, при тех же условиях в шинной системе, при переходе с неизолированных шин на окрашенные шины происходит увеличение номинального тока, которое может достигать 15%.

Таблица 20

Ширина x Толщина [мм] x [мм]	Номинальный ток в А перем. тока до 60Гц для неизолированных медных проводников				Номинальный ток в А до 60Гц для окрашенных медных проводников			
	I	II	III	II II*	I	II	III	II II*
50 x 5	583	994	1240	1920	679	1140	1330	2010
50 x 10	852	1510	2040	2600	1020	1720	2320	2950
60 x 5	688	1150	1440	2210	826	1330	1510	2310
60 x 10	985	1720	2300	2900	1180	1960	2610	3290
80 x 5	885	1450	1750	2720	1070	1680	1830	2830
80 x 10	1240	2110	2790	3450	1500	2410	3170	3930
100 x 5	1080	1730	2050	3190	1300	2010	2150	3300
100 x 10	1490	2480	3260	3980	1810	2850	3720	4530

Условие применимости таблицы: температура окружающей среды 35°C, температура проводника 65°C, ширина проводника по вертикали, расстояние между параллельными проводниками равны толщине проводника.

(*) минимальное расстояние между центральными проводниками: 50 мм.

3 Проблемы, связанные с коротким замыканием

В данной главе проводится анализ проблем, связанных с коротким замыканием, особое внимание уделяется взаимодействию между защитным автоматическим выключателем, установленным в распределительном щите и самим щитом. После короткого введения с определением основных электрических параметров, относящихся к короткому замыканию, выполняется анализ с целью иллюстрации требований, относящихся к электрическим цепям распределительных щитов и методам снижения возможности короткого замыкания в цепях внутри распределительного щита и его воздействий.

3.1 Основные определения параметров, характеризующих распределительный щит в условиях короткого замыкания

Основные параметры, характеризующие распределительный щит с точки зрения прочности при коротком замыкании, следующие:

- номинальный кратковременно выдерживаемый ток;
- номинальный ударный ток;
- номинальный условный ток короткого замыкания.

Стандарт МЭК 60439-1 (ГОСТ Р 51321.1-2000) на низковольтные комплектные распределительные устройства определяет вышеуказанные параметры следующим образом:

Номинальный кратковременно выдерживаемый ток “ I_{cw} ”

Номинальный кратковременно выдерживаемый ток цепи распределительного щита представляет собой среднеквадратичную величину кратковременного тока, которая установлена для этой цепи производителем, и которую эта цепь может проводить без повреждений в условиях выполнения испытаний, предписанных Стандартом. Если производителем не указано иное, начало отсчета времени составляет 1 с. С этим кратковременным током связана определенная пиковая величина “ I_{pk} ”; предполагается также, что величина максимального тока, который может возникнуть, и который распределительный щит способен выдержать, не превышает пиковую величину, связанную с величиной I_{cw} посредством коэффициента “ n ”.

Номинальный ударный ток “ I_{pk} ”

Номинальным ударным током цепи распределительного щита является ударный ток, который установлен для этой цепи производителем, и которую эта цепь способна выдерживать в условиях выполнения испытаний, предписанных Стандартом. Пиковый ток, используемый для определения электродинамических напряжений, получают путем умножения кратковременного тока на коэффициент “ n ”.

Значения, стандартизованные посредством коэффициента “ n ”, указаны в Таблице 21.

Таблица 21

Среднеквадратичное значение тока короткого замыкания кА	Значения, стандартизованные посредством коэффициента “ n ”	
	Соф	n
$I \leq 5$	0.7	1.5
$5 < I \leq 10$	0.5	1.7
$10 < I \leq 20$	0.3	2
$20 < I \leq 50$	0.25	2.1
$50 < I$	0.2	2.2

Номинальный условный ток короткого замыкания “ I_{cs} ”

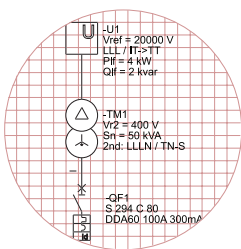
Номинальный условный ток короткого замыкания, характеризующий цепь распределительного щита, представляет собой указанное производителем значение ожидаемого тока короткого замыкания, который может быть выдержан этой цепью, защищенной устройством защиты от короткого замыкания, указанным производителем, в течение времени срабатывания устройства при установленных условиях испытаний.

На основании этих определений можно сказать, что цепь распределительного щита, для которой было определено конкретное значение I_{cw} , способна выдерживать электродинамические нагрузки, обусловленные начальным пиковым значением, которое может достигнуть максимальной величины, равной “ $I_{cw} \times n$ ”, и удельную тепловую энергию, обусловленную током и равную $I_{cw}^2 \times t$ (при $t=1c$).

С другой стороны, цепь распределительного щита, защищенного подходящим устройством, должна позволять проводить номинальный условный ток короткого замыкания, если она способна выдерживать электродинамические нагрузки, обусловленные пиковым током, который ограничен защитным устройством, и пропускаемой защитным устройством удельной тепловой энергией в соответствии с ожидаемым током короткого замыкания I_k .

3.1.1 Общие указания и информация о прочности при коротком замыкании

Что касается прочности устройства при коротком замыкании, Стандарт МЭК 60439-1 предписывает, чтобы пользователь распределительного щита предоставил производителю данные относительно токов короткого замыкания в месте установки, с целью обеспечения защиты от короткого замыкания распределительного устройства посредством защитных устройств – например, автоматических выключателей, расположенных внутри или вне распределительного щита, а также изготовления его таким образом, чтобы гарантировать прочность при тепловых и динамических нагрузках, возникающих в условиях короткого замыкания. Производителем указывается информация о прочности при коротком замыкании распределительного щита в зависимости от наличия или отсутствия защитного устройства.



Серия инженера-конструктора

Для устройств с автоматическим выключателем, встроенным в поставляемое изделие, производитель должен указать максимальное допустимое значение тока короткого замыкания, выраженное в виде:

- номинального условного тока короткого замыкания I_{sc} , если защитное устройство - автоматический выключатель с высокими характеристиками токоограничения;
- допустимого кратковременно выдерживаемого тока I_{cw} , если защитное устройство - автоматический выключатель с высоким значением I_{cw} ;

Для устройств в случае, когда автоматический выключатель не входит в состав поставляемого изделия, производитель может указать:

- номинальный условный ток короткого замыкания (I_{sc}), с указанием характеристик внешнего устройства защиты распределительного щита (номинальный ток, отключающая способность, предельный ток, удельная пропускаемая энергия);
- допустимое значение кратковременно выдерживаемого тока (I_{cw}).

Если длительность протекания тока не указана, она считается равной 1 с; если не указано начальное пиковое значение, оно считается связанным с заданным условным током короткого замыкания посредством коэффициента "n".

3.2 Предписания, касающиеся электрических цепей распределительного щита

В дополнение к предыдущим общим предписаниям относительно прочности распределительного щита при коротком замыкании Стандарт указывает, как должны определяться размеры электрических цепей внутри устройства, чтобы снизить возможность появления аварий. Основные указания приводятся со ссылкой на внутреннюю шинную систему, которая должна быть спроектирована таким образом, чтобы короткое замыкание шин было маловероятно. При определении размера шин с точки зрения обеспечения прочности при коротком замыкании, необходимо соблюдать другие предписания, если речь идет о системе сборных шин, а не о цепях, ответвляющихся от шин.

3.2.1 Сборные шины

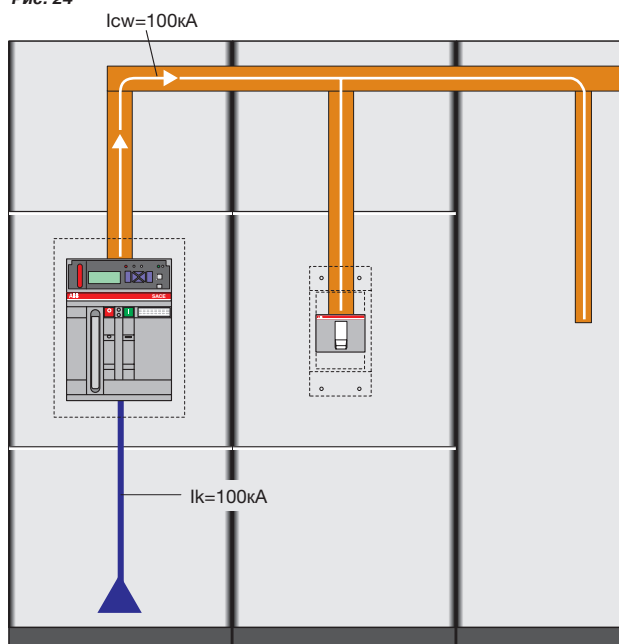
Сборные шины (неизолированные или изолированные) должны быть расположены так, чтобы при нормальных условиях эксплуатации вероятность внутреннего короткого замыкания была сведена к нулю. Если не указано иное, шины должны быть рассчитаны в соответствии с информацией о прочности при коротком замыкании и выдерживать нагрузки от короткого замыкания, ограниченные защитными устройствами, установленными на стороне питания шин.

На практике, если предельные характеристики защитного

устройства выше характеристик шинной системы (или если они не известны заранее), шинная система должна быть спроектирована так, чтобы значение I_{cw} было выше значения тока короткого замыкания в месте установки.

Здесь приводится пример для пояснения этой концепции:

Рис. 24



В распределительном щите на Рис. 24 автоматический выключатель, защищающий сборные шины, - это выключатель Emax E4H с $I_{cw} = 100$ кА.

Если также шинная система имеет значение I_{cw} , равное 100 кА или выше, то следует считать, что цепь, составленная автоматическим выключателем и шинной системой, имеет значение $I_{cw} = 100$ кА.

С другой стороны, если устройство, защищающее рабочую шинную систему, представляет собой автоматический выключатель с характеристиками токоограничения, можно задать размеры шинной системы так, чтобы выдерживать нагрузки, обусловленные предельным пиковым током и удельной пропускаемой энергией, ограниченной автоматическим выключателем.

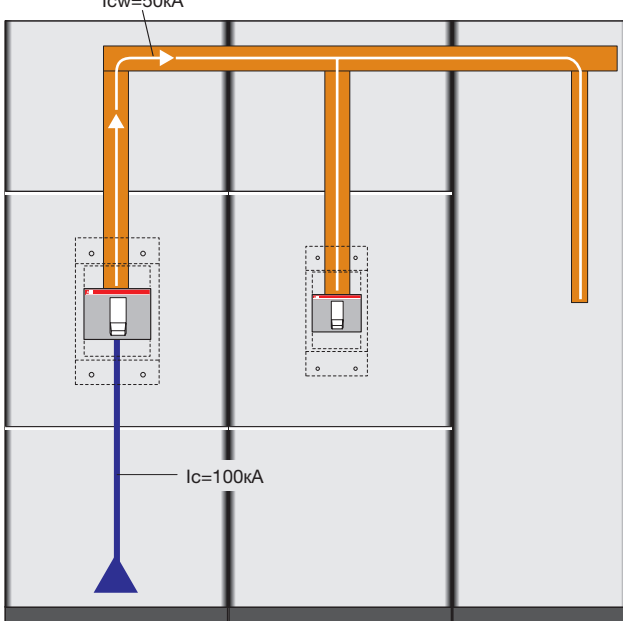
Теперь в качестве примера приводится распределительный щит на Рис. 25, который подлежит монтажу в установке с ожидаемым током короткого замыкания I_k , равным 100кА при 400 В. А Tmax T6L1000 выбран в качестве входного автоматического выключателя.

В соответствии со значениями I_k , ниже входного аппарата, подтверждены следующие параметры:

- удельная пропускаемая энергия ниже $20 \text{ MA}^2\text{с}$
- предельный пиковый ток менее 80 кА

Наличие токоограничивающего аппарата внутри распределительного щита позволяет установить шинную систему со значением $I_{\text{св}} < 100 \text{ кА}$ (ток короткого замыкания в установке) на стороне питания данного аппарата, но этому значению должны соответствовать значения пикового тока и удельной пропускаемой энергии, превышающие эти характеристики, измеренные на стороне нагрузки автоматического выключателя.

Рис. 25



Например, шинная система со значением $I_{\text{св}}$ равным 50 кА , может выдерживать следующие параметры:

- удельная пропускаемая энергия
 $50 \text{ кА} \times 50 \text{ кА} \times 1 \text{ с} = 2500 \text{ MA}^2\text{с}$
- пиковый ток
 $50 \text{ кА} \times 2,1 = 105 \text{ кА}$

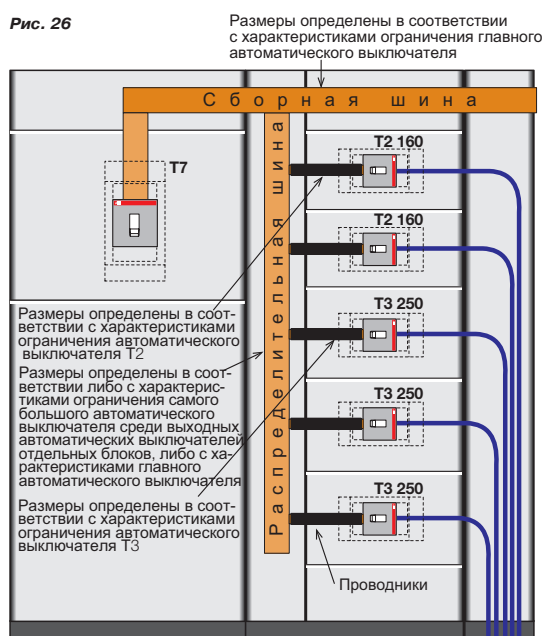
Следовательно, очень просто подтвердить, что шинная система ($I_{\text{св}} = 50 \text{ кА}$, $I_{\text{рк}} = 105 \text{ кА}$, $I^2t = 2500 \text{ MA}^2\text{с}$) способна выдерживать более высокие нагрузки, чем те, которые генерируются на стороне нагрузки автоматического выключателя Т6L. Итак: Можно установить шинную систему со значением $I_{\text{св}}$, равным 50 кА , на стороне нагрузки автоматического выключателя типа Т6L; в этом случае цепь, образованная шинами и автоматическим выключателем, должна иметь $I_{\text{св}} = 100 \text{ кА}$ и, следовательно, она соответствует ожидаемому току короткого замыкания установки.

3.2.2 Распределительные шины и проводники, ответвленные от сборных шин

В отсеке устройства проводники и распределительные шины, находящиеся между рабочей системой шин и стороной питания функциональных блоков, а также компоненты этих блоков, могут быть рассчитаны, исходя из пониженных нагрузок при коротком замыкании, возникающих на стороне нагрузки соответствующего автоматического выключателя, при условии, что эти проводники расположены так, что в нормальных рабочих условиях внутреннее короткое замыкание между фазами и/или между фазами и землей являются маловероятными. Такие проводники предпочтительны в сплошном жестком исполнении.

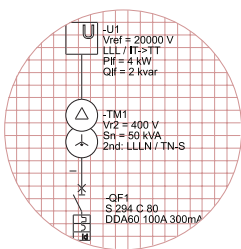
Экономические и размерные преимущества, вытекающие из данного предписания Стандарта, очевидны, прежде всего при наличии многих цепей, ответвляющихся от одной системы сборных шин.

Рис. 26



На Рис. 26 показан распределительный щит, в котором вертикальная распределительная шина, в виде неизолированного сплошного стержня с разделителями, ответвляется от сборной шины, так что возникновение короткого замыкания считается маловероятным.

От этой шины отходят различные горизонтально расположенные проводники (в кабеле), подающие питание на главные автоматические выключатели различных отходящих фидеров. Для правильного определения размеров вертикальной распределительной шины можно учитывать выходное устройство с самыми низкими характеристиками токоограничения. Таким образом, также и в случае аварии на стороне нагрузки автоматического выключателя с относительно низкой ограничивающей способностью шина должна испытывать допустимые нагрузки.



Серия инженера-конструктора

Определение размера распределительной шины, выполненное согласно сказанному выше, соответствует предписаниям Стандарта; несмотря на это, многие производители распределительных щитов обычно определяют размеры распределительных шин с учетом характеристик автоматического выключателя на входе распределительного щита, с точки зрения их пропускной энергии и значения предельного пикового тока.

Напротив, размеры различных кабелей, питающих отдельные автоматические выключатели, должны определяться в зависимости от ограничительных характеристик соответствующего выключателя.

3.3 Снижение возможности возникновения короткого замыкания и соответствующих воздействий

В отношении предписаний, направленных на снижение вероятности короткого замыкания в рабочих проводниках, Стандарт МЭК 60439-1 рекомендует ряд мер, в зависимости от типа проводника. В качестве примера здесь приводятся указания для:

- неизолированных проводников или одножильных проводников с основной изоляцией, например, кабели в соответствии со Стандартом ГОСТ Р МЭК 60227-3, для которых необходимо предотвратить возможность взаимного контакта или контакта с токопроводящими деталями, например, использование разделителей;
- одножильных проводников с основной изоляцией и максимальной допустимой рабочей температурой выше 90°C, например, кабелей в соответствии со Стандартом ГОСТ Р МЭК 60245-3, или термостойких кабелей с изоляцией ПВХ в соответствии со Стандартом МЭК 60227-3, в отношении которых допускается взаимный контакт или контакт с токопроводящими деталями при отсутствии внешнего давления. Необходимо избегать контакта с острыми кромками. Не должно быть риска механического повреждения. Эти проводники могут подвергаться только такой нагрузке, чтобы рабочая температура не превышала 70° C;
- проводников с основной изоляцией (кабели в соответствии со Стандартом МЭК 60227-3), имеющих дополнительную вторичную изоляцию, например, отдельные закрытые кабели с усадочными трубками или отдельно проложенные кабели в пластиковых каналах, или проводники, изолированные материалами с очень высокой механической прочностью (изоляция FTFE), в отношении которых не существует дополнительных требований, если отсутствует риск механического повреждения.

3.3.1 Минимальные анкерные расстояния для проводников

Одна из основных проблем в связи с коротким замыканием, которую непременно должны учитывать изготовители панелей, это - максимальные расстояния анкерных креплений проводников, соединенных с автоматическими выключателями, от выводов автоматического выключателя. Как известно, кабели и шины внутри распределительного щита должны быть прикреплены к раме.

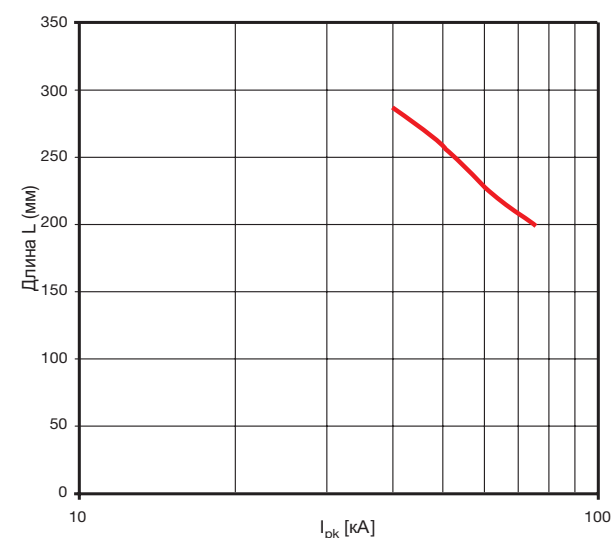
В самом деле, во время короткого замыкания динамические нагрузки на проводники могут также воздействовать на выводы автоматического выключателя, вызывая повреждения. На Рис. 27 показано несколько зависимостей, относящихся к автоматическим выключателям серий Tmax и Emax и позволяющих определить, в зависимости от максимального пикового тока в условиях короткого замыкания и типологии автоматического выключателя, максимальные расстояния от выводов автоматического выключателя до первого анкерного элемента проводников.

Термин "проводник" применяется в отношении шин, когда ток выше или равен 400 А, а если ток меньше этого значения, то применяется термин "кабель". Это различие проводится в соответствии с Таблицами 8 и 9 Стандарта МЭК 60439-1. Если особыми требованиями предписывается применение шин также и для токов менее 400 А, расстояния, которые могут быть получены на основе схем, не должны изменяться; при этом расстояния, относящиеся к применению шин, не действительны при использовании кабелей.

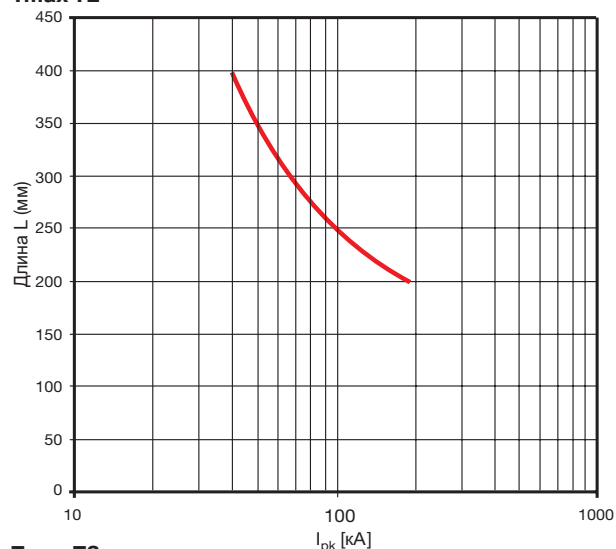
Рис. 27

Расстояния, предложенные для первого анкерного элемента шин, в зависимости от максимального пикового значения ожидаемого тока короткого замыкания.

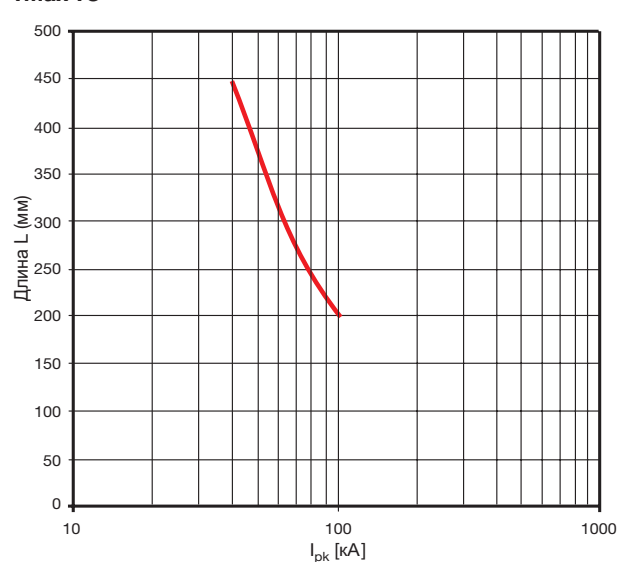
Tmax T1



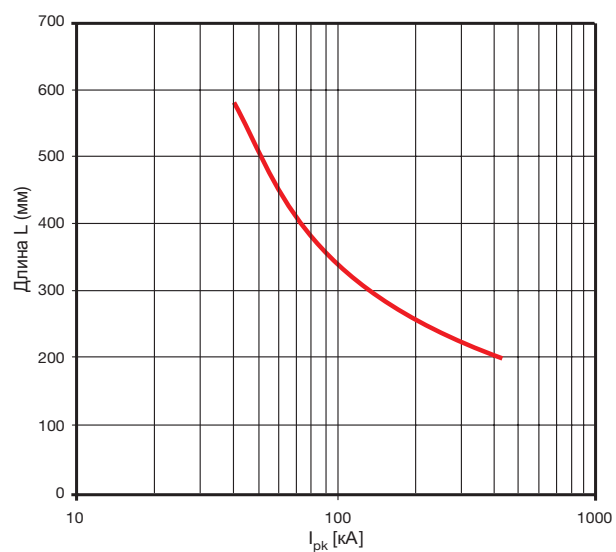
Tmax T2



Tmax T3

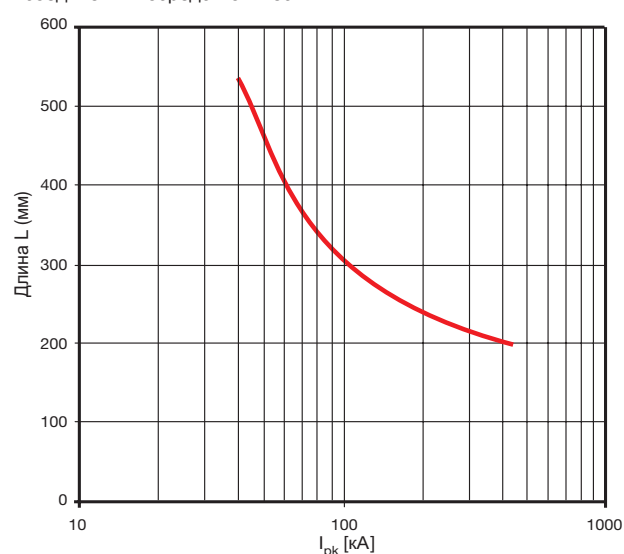


Tmax T4



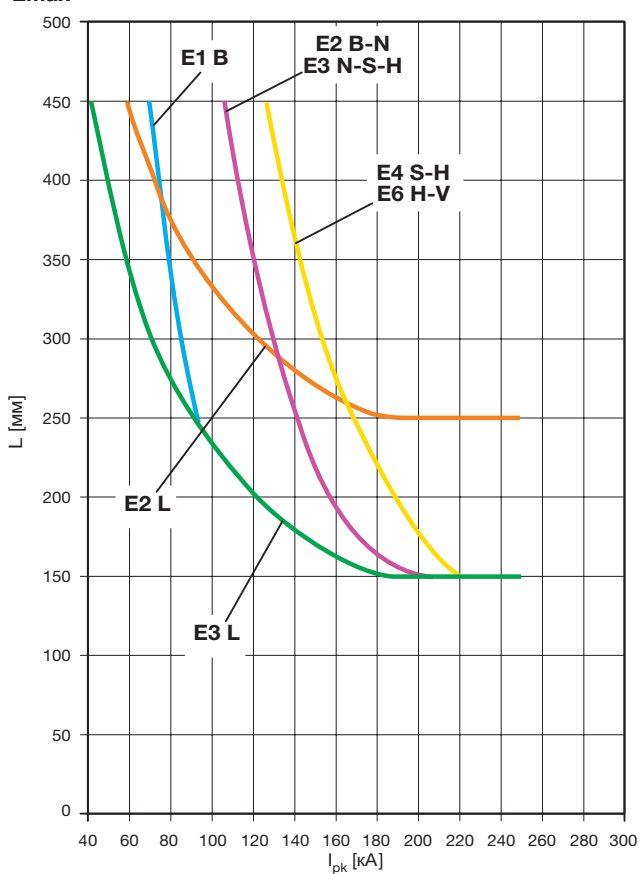
Tmax T5

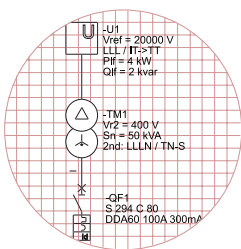
Действительны для:
- передних и задних выводов
- соединения посредством жестких шин



Расстояния, предложенные для первого анкерного элемента шин, в зависимости от максимального пикового значения ожидаемого тока короткого замыкания. Автоматический выключатель с горизонтальными и вертикальными выводами.

Emax

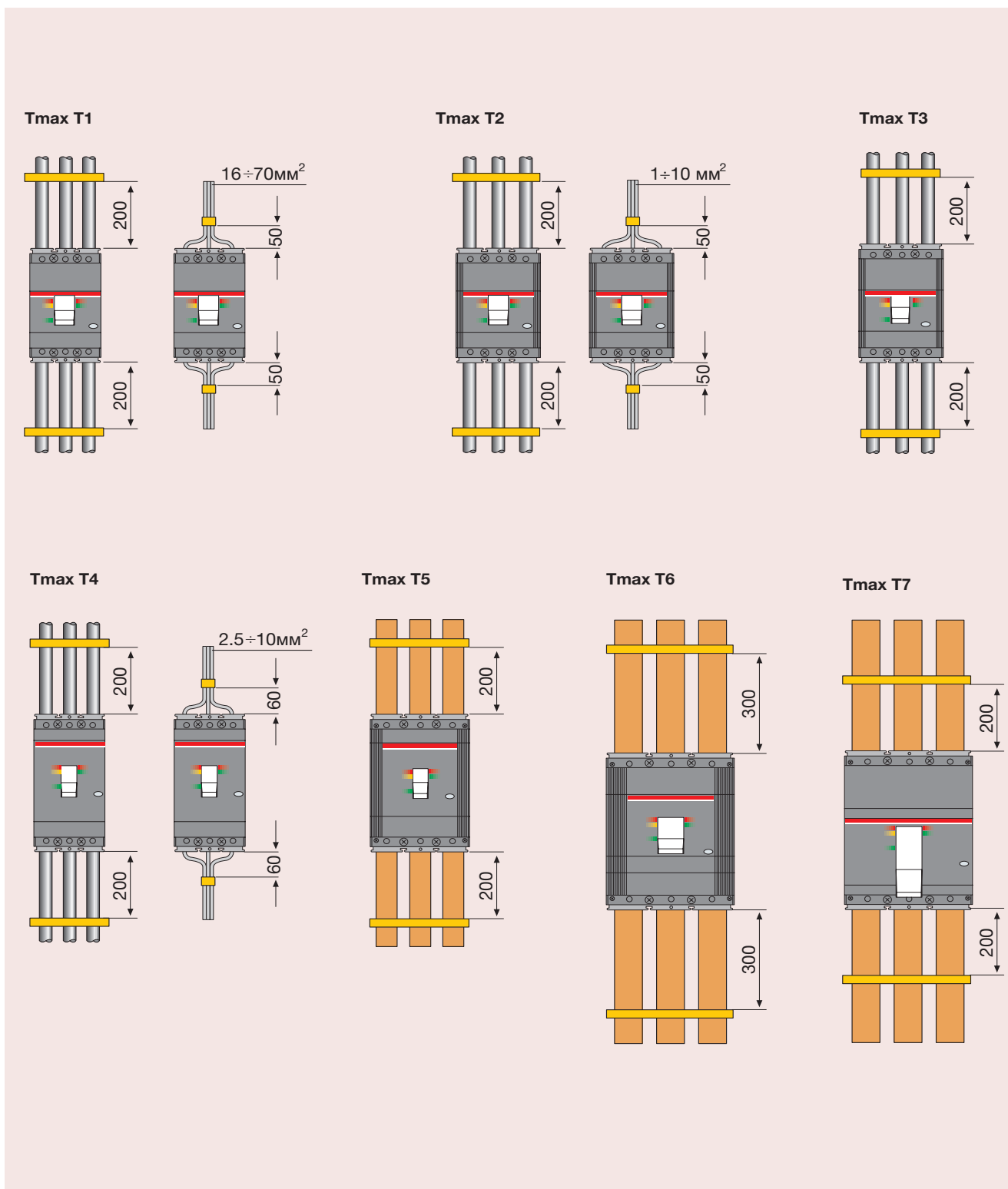




Серия инженера-конструктора

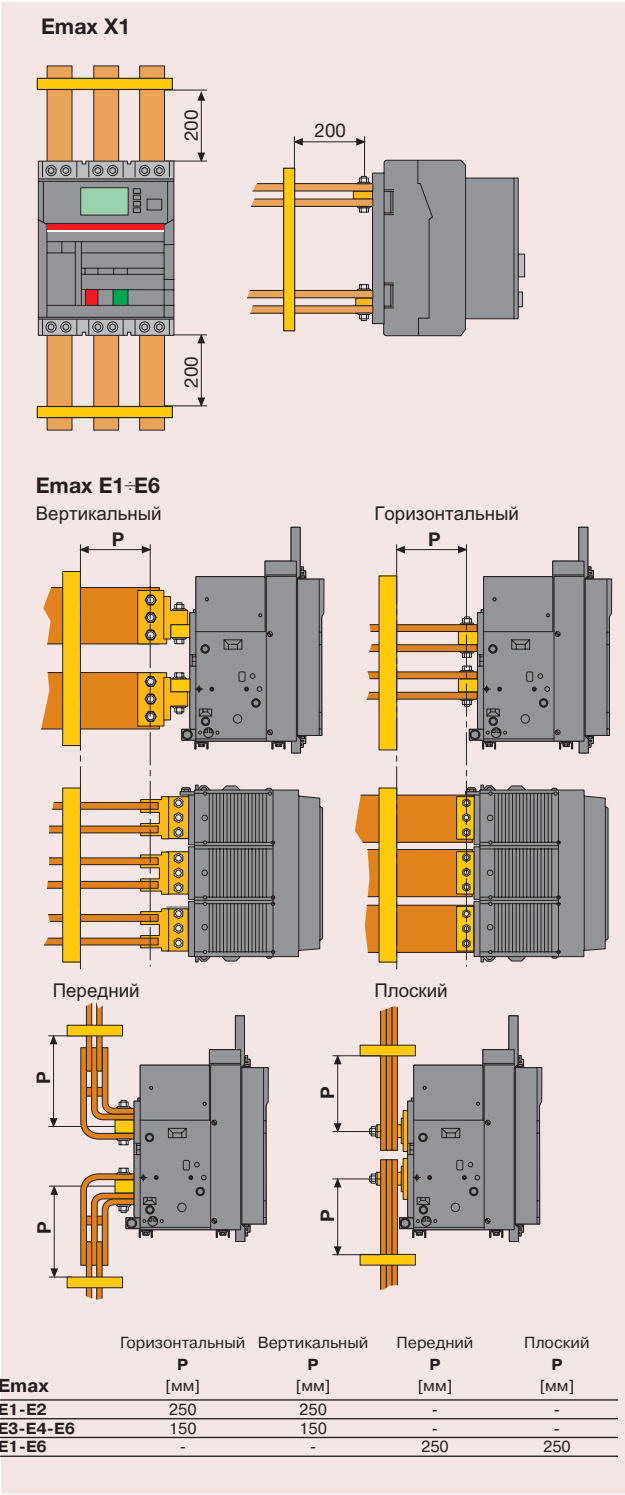
Для автоматических выключателей в литом корпусе серии Tmax на Рис. 28 приведен пример максимального расстояния (в мм), предложенного для расположения ближайшей анкерной опоры, в зависимости от максимального значения пикового тока, допустимого для автоматического выключателя.

Рис. 28



Для автоматических выключателей серии Emax на Рис. 29 приведен пример максимального расстояния (в мм), предложенного для расположения ближайшей анкерной опоры для шин, соединенных с автоматическим выключателем, в зависимости от различных типов имеющихся выводов и от наибольших пиковых значений, которые получены на основе схем Рис. 28.

Рис. 29



3.3.2 Проверка характеристик прочности при коротком замыкании и токоограничения автоматических выключателей

В некоторых случаях Стандарт МЭК 60439-1 допускает не проводить проверки прочности устройств при коротком замыкании.

В частности, от проверки освобождаются следующие комплектные распределительные устройства:

- с номинальными кратковременно выдерживаемыми токами или номинальными условными токами короткого замыкания менее 10 кА;
- защищенные токоограничивающими устройствами с предельным пиковым током, не превышающим 17 кА, в соответствии с максимальным ожидаемым током короткого замыкания, измеренным на выводах входящей цепи устройства.

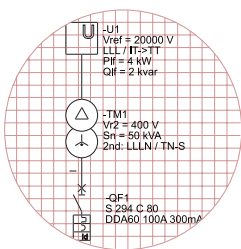
Как известно, ограничивающие свойства автоматического выключателя зависят от рабочего напряжения самого автоматического выключателя.

В Таблице 22 ниже указаны - для различных защитных автоматических выключателей и наиболее распространенных напряжений установки - значения, которые приблизительно представляют максимальный ожидаемый ток короткого замыкания в [кА] и гарантируют предельный пиковый ток не выше 17 кА, так что не нужно проводить испытание распределительного щита на прочность при коротком замыкании.

Таблица 22

Автоматический выключатель		Номинальное напряжение установки			
Тип	Номинальный ток In [А]	230 В перем. т.	415 В перем. т.	500 В перем. т.	690 В перем. т.
S200	≤63	20	10	-	-
S200M	≤63	25	15	-	-
S200P	≤25	40	25	-	-
S200P	32-63	25	15	-	-
S800	≤125	50	50	15(In≤80A) 10(In≥80A)	6(In≤80A) 4,5(In≥80A)
S290	≤125	25	15	-	-
T1	<160	50	35	15	6
T1	160	37	33	15	6
T2	≤32	120	85	50	10
T2	≤50	120	85	39	10
T2	≤63	120	65	30	10
T2	80-160	120	50	29	10
T3	63	37	20	18	8
T3	80	27	18	17	8
T3	100	21	16	15	8
T3	125-160	18	15	14	8
T3	200-250	16	14	13	8
T4	20	200	200	150	80
T4	32-50	200	200	150	55
T4	80	200	100	48	32
T4	100-320	200	24	21	19
T5 T6 T7	320-1600	10	10	10	10

Значение тока короткого замыкания, указанное в таблице выше, необходимо сравнить со значением отключающей способности автоматического выключателя для имеющихся различных исполнений.



Серия инженера-конструктора

3.3.3 Проблемы, касающиеся монтажных расстояний

Стандарт МЭК 60439-1 ставит перед производителями автоматических выключателей задачу определения требований к установке этих устройств внутри распределительных щитов.

Ниже, на Рис. 30 и 31, для автоматических выключателей АББ серий Tmax и Emax соответственно, указаны расстояния, которые необходимо соблюдать в установках до 690 В перем. тока; такие расстояния уже указаны в технических каталогах и руководствах по монтажу автоматических выключателей.

Рис. 30

Изоляционные расстояния для установки в металлической ячейке

	A [mm]	B [mm]	C [mm]
T1	25	20	20
T2	25	20	20
T3	50	25	20
T4	30 ^(*)	25	25 ^(*)
T5	30 ^(*)	25	25 ^(*)
T6	35 ^(*)	25	20
T7	50 ^(*)	20	10

(*) Для $U_n \geq 440$ В и T6L всех исполнений: расстояния A 100 мм
Примечание: За информацией об изоляционных расстояниях автоматических выключателей 1000 В обратиться в АББ

Расстояния между двумя автоматическими выключателями, расположенными рядом друг с другом или друг над другом

Для установки рядом друг с другом или друг над другом проверьте, чтобы соединительные шины или кабели не уменьшали воздушное изоляционное расстояние

Минимальное межцентровое расстояние у двух автоматических выключателей, расположенных рядом друг с другом

	Ширина автоматического выключателя (мм)		Межцентровое расстояние I (мм)	
	3 полюса	4 полюса	3 полюса	4 полюса
T1	76	102	76	102
T2	90	120	90	120
T3	105	140	105	140
T4	105	140	105	140
T5	140	184	140 ^(*)	184 ^(*)
T6	210	280	210	280
T7	210	280	210	280

(*) Для $U_n \geq 500$ В минимальное межцентровое расстояние I (мм) при 3 полюсах - 180, минимальное межцентровое расстояние I (мм) при 4 полюсах - 224

Минимальное межцентровое расстояние между двумя автоматическими выключателями, расположенными друг над другом

	H [mm]
T1	60
T2	90
T3	140
T4	160
T5	160
T6	180
T7	180

Примечание: Указанный размер действителен для рабочего напряжения U_n до 690 В. Размеры, которые необходимо учесть, должны быть добавлены к максимальным размерам различных других исполнений автоматических выключателей, включая выводы. Относительно исполнений 1000 В обратиться в АББ.

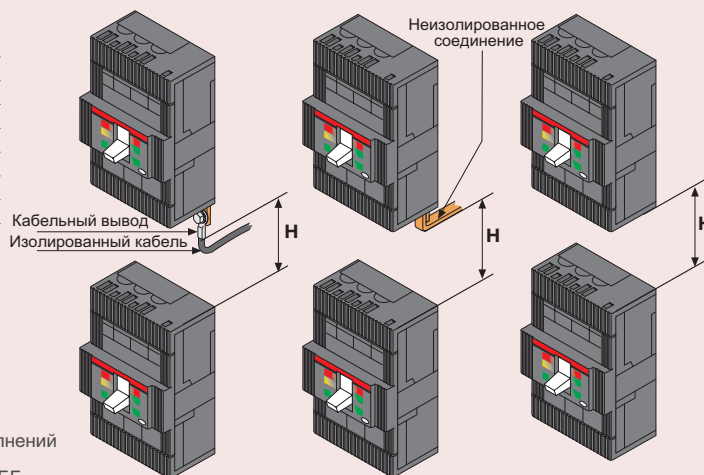
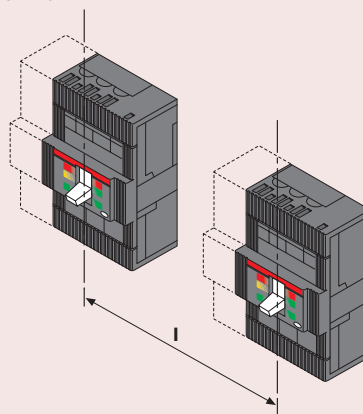
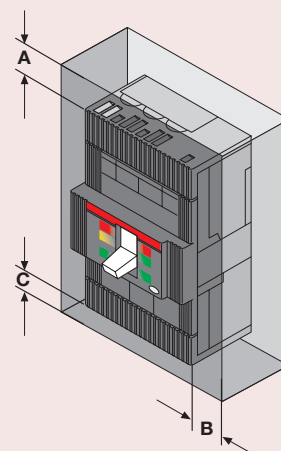


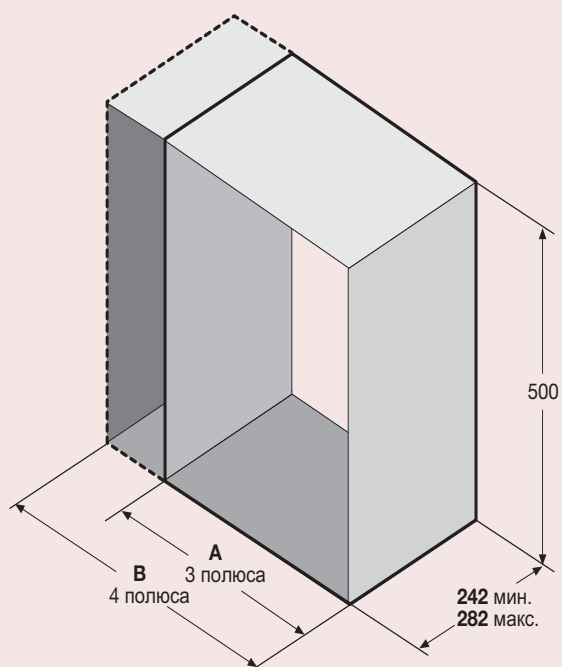
Рис. 31

Размеры отсека

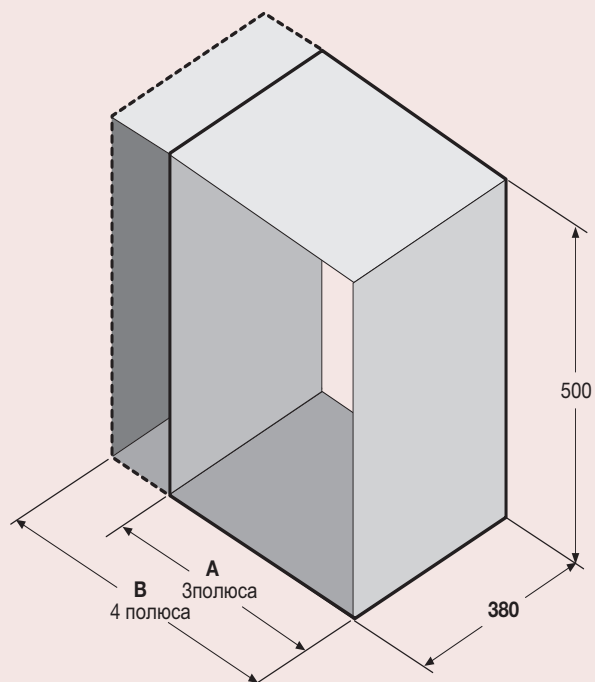
E _{max}	A [мм]	B [мм]
E1	400	490
E2	400	490
E3	500	630
E4	700	790
E4f	-	880
E6	1000	1130
E6f	-	1260

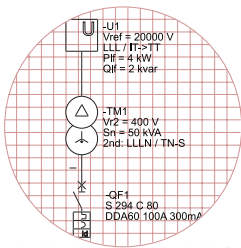
Примечание: Для автоматического выключателя E_{max} X1 следует учитывать указания Рис. 30, относящиеся к изоляционному расстоянию автоматического выключателя T_{max} T7

E_{max} – стационарное исполнение



E_{max} – выкатное исполнение





Серия инженера-конструктора

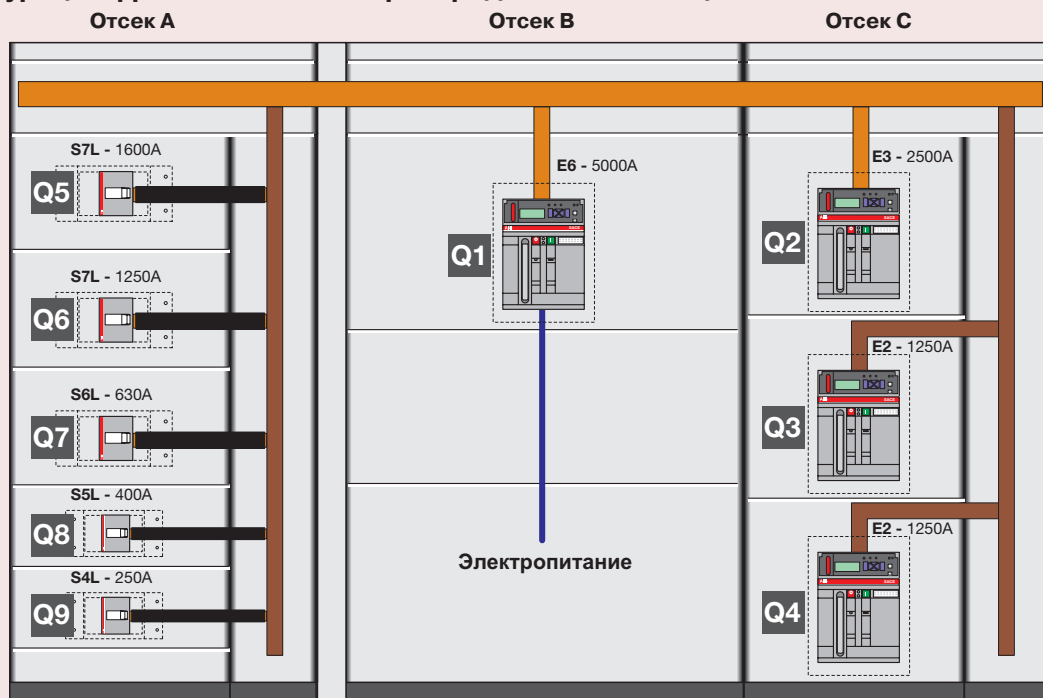
Приложение А

Пример электрических распределительных щитов с автоматическими выключателями АББ

Настоящее Приложение содержит соображения по поводу двух различных типологий распределительных щитов с автоматическими выключателями АББ.

Первый пример

Конфигурация фронтальной части распределительного щита



Характеристики распределительного щита

Габариты распределительного щита	Высота: 2300 мм	Ширина: 2900 мм	Глубина: 1100 мм
Степень защиты IP3X	Вид разделения 4В		

Таблица данных

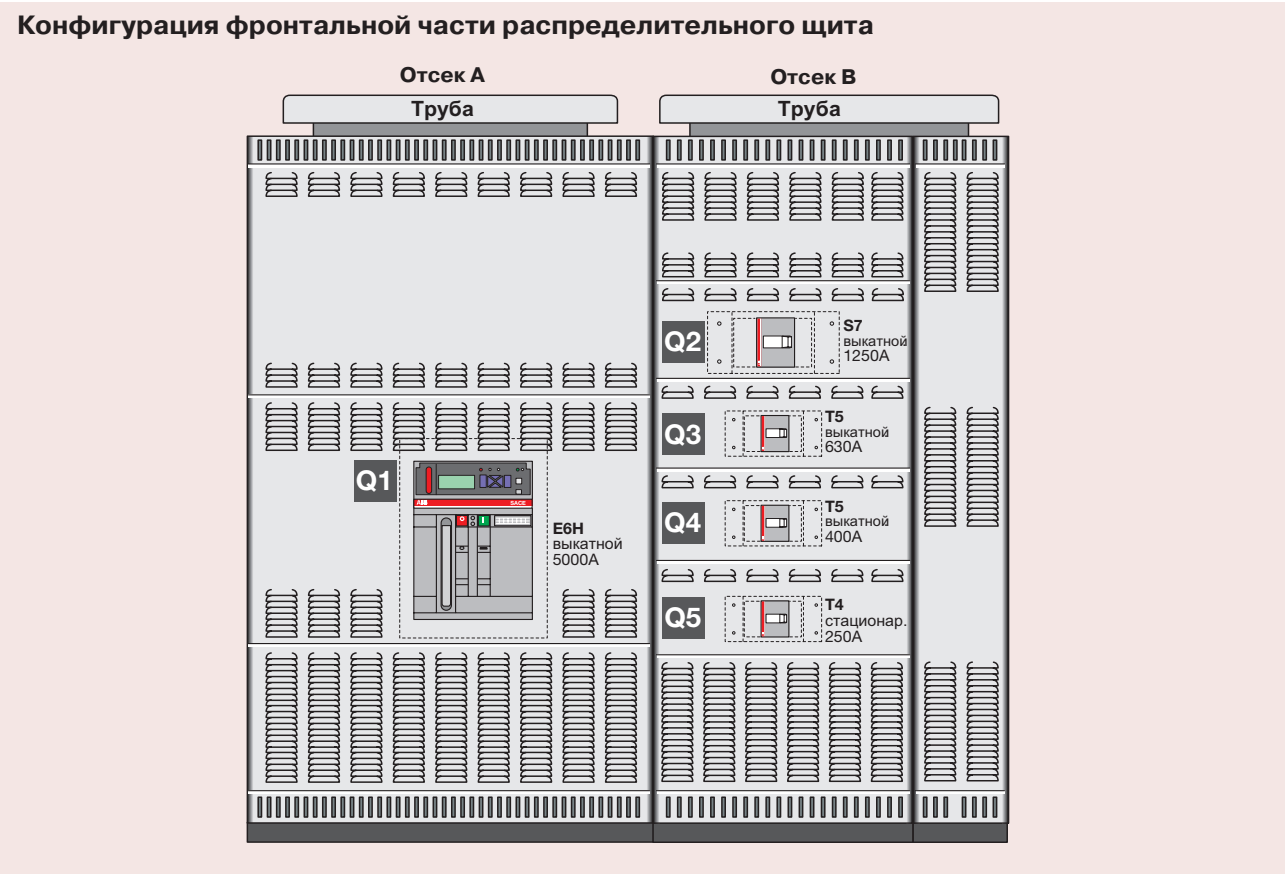
Цепь	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
Автоматический выключатель	E6H	E3H	E2L	E2L	S7L	S7L	S6L	S5L	S4L
Номинальный ток In [A]	5000	2500	1250	1250	1600	1250	630	400	250
Номинальный коэффициент одновременности	0.9	0.8	0.9	0.9	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Испытательный ток [A]	4500	2000	1125	1125	1360	1062.5	535.5	340	212.5
Номинальный ток короткого замыкания Icw [kA]	100	100	-	-	-	-	-	-	-
Номинальный ударный ток Ipk [kA]	220	220	-	-	-	-	-	-	-
Номинальный условный ток короткого замыкания Icc [kA]	-	-	100	100	100	100	100	100	100

В вышеприведенной таблице указаны данные, относящиеся к автоматическим выключателям, установленным в распределительном щите, и соответствующие значения эффективного номинального тока, полученные при испытаниях, проведенных в соответствии со Стандартом МЭК 60439-1.

Из этих результатов явствует, что для случая правильной компоновки распределительного щита и подходящих видов разделения при надлежащем расположении аппаратов и для проводников и шин, рассчитанных в соответствии с площадями поперечных сечений и минимальной длиной, предписанными Стандартом, номинальный ток автоматических выключателей в распределительном щите будет очень близок к расчетному.

Из таблицы также видно, как следует рассчитать главную распределительную цепь (оранжевая линия), оснащенную автоматическим выключателем без токоограничения, чтобы она выдерживала условный ток в течение 1 секунды и его соответствующее пиковое значение; с другой стороны, распределительные цепи (коричневая линия), оснащенные токоограничивающим автоматическим выключателем, должны иметь размеры согласно условному току короткого замыкания: таким образом, для отсека С, автоматические выключатели должны быть рассчитаны на выдерживание пикового тока и удельной энергии, пропускаемой E2L, а для отсека А, они должны иметь размеры в соответствии с пиковым током и удельной энергии, пропускаемой S7L. Размеры, определенные в соответствии с этим критерием, действительны только в том случае, если они могут гарантировать нулевую вероятность возникновения аварии в распределительной шине. В противном случае, распределительная шина также должна иметь размеры сборной шины.

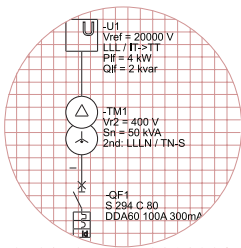
Второй пример



Характеристики распределительного щита			
Габариты распределительного щита	Высота: 2320 мм	Ширина: 1800 мм	Глубина: 1240 мм
Степень защиты IP30	Вид разделения 4		

Таблица данных					
Цепь	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Автоматический выключатель	E6H	S7H	T5H	T5H	T4H
Номинальный ток In [A]	5000	1250	630	400	250
Номинальный коэффициент одновременности	1	1	1	1	1
Испытательный ток [A]	5000	1250	630	400	250
Номинальный ток короткого замыкания Icw [кА]	100	-	-	-	-
Номинальный ударный ток Ipk [кА]	220	-	-	-	-
Номинальный условный ток короткого замыкания Icc [кА]		100	100	100	100

Проводники и шины, использованные для реализации цепей этого распределительного щита, имеют большие величины поперечного сечения, чем рекомендовано Стандартом. В данных условиях, как вытекает из анализа таблицы, эффективные величины номинального тока цепей внутри распределительного щита совпадают с величинами номинального тока автоматических выключателей. Замечания, аналогичные предыдущему случаю, действительны также для проверки защиты шины.



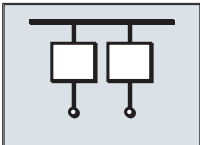
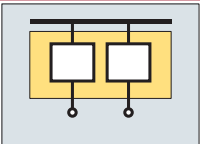
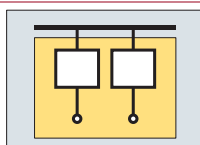
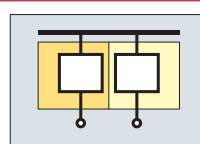
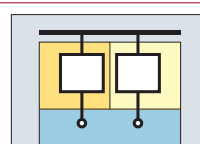
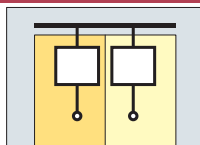
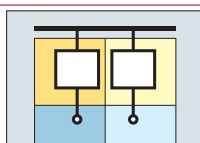
Серия инженера-конструктора

Приложение В

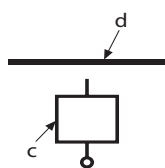
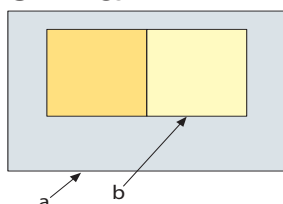
Виды внутреннего разделения

Путем деления устройств посредством барьеров или перегородок (металлических или неметаллических) на отдельные отсеки или замкнутые защищенные объемы, обеспечивается защита от контакта с опасными деталями, находящимися под напряжением, которые входят в смежные функциональные блоки, и защита от проникновения твердых инородных предметов из одного блока устройства в соседний.

Виды разделения посредством барьеров и перегородок следующие:

Вид 1 Отсутствие внутреннего разделения	
Вид 2 Отделение шин от функциональных блоков	Вид 2а Выходы для внешних проводников не отделяются от шин 
	Вид 2b Выходы для внешних проводников отделяются от шин 
Вид 3 Отделение шин и функциональных блоков и отделение всех функциональных блоков друг от друга. Отделение выводов для внешних проводников от функциональных блоков, при отсутствии отделения блоков друг от друга	Вид 3а Выходы для внешних проводников не отделяются от шин 
	Вид 3b Выходы для внешних проводников отделяются от шин 
Вид 4 Отделение шин от всех функциональных блоков и отделение всех функциональных блоков друг от друга. Отделение выводов для внешних проводников, связанных с одним функциональным блоком, от выводов любого другого функционального блока и шин	Вид 4а Выходы для внешних проводников в том же отсеке, где находится соединенный функциональный блок 
	Вид 4b Выходы для внешних проводников не в том же отсеке, где находится соединенный функциональный блок, а в отдельных, разделенных замкнутых защищенных объемах или отсеках 

СИМВОЛЫ



Надпись к рисунку

- a Оболочка
- b Внутреннее разделение
- c Функциональные блоки, включая выходы для присоединенных внешних проводников
- d Шины, включая распределительные шины

Приложение С

Степени защиты (код IP)

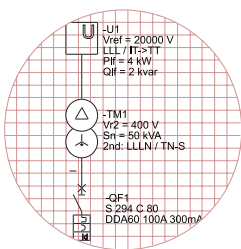
В качестве примера в нижеследующей таблице указывается минимальная степень защиты для комплектного распределительного устройства, которое подлежит установке в заданной среде в соответствии с вышеназванными Стандартами. Предписанная для аппарата степень защиты от доступа к опасным частям, находящимся под напряжением, и от проникновения твердых инородных предметов и жидкостей указывается кодом IP... в соответствии со Стандартом МЭК 60529.

Краткое описание элементов кода IP приводится ниже. Полную информацию смотрите в Стандарте МЭК 60529.

Буквы кода (International Protection)	IP
Первая характеристическая цифра (цифры от 0 до 6 или буква X)	От проникновения твердых инородных предметов
Вторая характеристическая цифра (цифры от 0 до 8 или буква X)	От проникновения воды с вредными воздействиями
Дополнительная буква (опция) (буквы A, B, C, D):	От доступа к опасным деталям
Дополнительная буква (опция) (буквы H, M, S, W):	Дополнительная информация

Когда не требуется указывать характеристическую цифру, ее можно заменить буквой "X" ("XX" в случае отсутствия обеих цифр).

Типы устройств / Типы окружающей среды	Стандарты и пункты	Минимальная степень защиты
Комплектное распределительное устройство: распределительный щит в оболочке	МЭК 60439-1, пункт 2.3.3	Не определено
Устройства для наружной установки	МЭК 60439-1, пункт 7.2.1.3	IPX3
Устройства с защитой посредством полной изоляции	МЭК 60439-1, пункт 7.4.3.2.2	IP2XC
Установка в нормальной окружающей среде		
Части, находящиеся под напряжением, не предназначенные для преднамеренного прикосновения	МЭК 60364-4, пункт 412.2.1	IPXXB (IP2X)
Части, находящиеся под напряжением, легко доступные (горизонтальные вверх)	МЭК 60364-4 пункт 412.2.2	IPXXD (IP4X)
Установка на объектах с ванной или с душем		
Зоны 1 и 2	МЭК 60364-7, пункт 701.512.2	IPX4
Зона 3	МЭК 60364-7 пункт 701.512.2	IPX1
Зоны 1–2–3 общественных бань, где очистка проводится струей воды	МЭК 60364-7 пункт 701.512.2	IPX5
Установки для бассейнов		
Зона 0	МЭК 60364-7 пункт 702.512.2	IPX8
Зона 1	МЭК 60364-7 пункт 702.512.2	IPX5
Зона 2 для установки в помещении	МЭК 60364-7 пункт 702.512.2	IPX2
Зона 2 для наружной установки	МЭК 60364-7 пункт 702.512.2	IPX4
Зона 2, где очистка проводится струей воды	МЭК 60364-7 пункт 702.512.2	IPX5
Установка для помещений и кабин с нагревателями для сауны	МЭК 60364-7 пункт 703.512.2	IP24
Устройства для строительных площадок (ACS)	МЭК 60439-4, пункт 7.2.1.1	IP44



Серия инженера-конструктора

Глоссарий

fn	номинальный коэффициент одновременности
In_c	номинальный ток цепи
I2test, I3test....	испытательный ток цепи "2", испытательный ток цепи "3" и т.д.
T_T	абсолютная температура [°C]
T_A	температура окружающего воздуха [°C]
ΔT	превышение температуры [K]
LV	низкое напряжение
РТТА	низковольтное комплектное распределительное устройство, прошедшее частичные типовые испытания (ЧИ НКУ)
d.c.	постоянный ток
a.c.	переменный ток
Ib	ток полной нагрузки
P_{CB}	потери мощности автоматического выключателя при Ib
Pn_{CB}	потери мощности автоматического выключателя при Ib _{CB}
In_{CB}	номинальный ток автоматического выключателя
P_{SB}	потери мощности шины при Ib
Pn_{SB}	потери мощности шины при Ib _{SB}
In_{SB}	номинальный ток шины
L_{SB}	длина шины
P_{TO}	суммарная мощность, рассеиваемая внутри распределительного щита
A_E	эффективная поверхность охлаждения
b	коэффициент поверхности
A₀	сумма отдельных площадей поверхности
d	температурный коэффициент
IP	степень защиты
Icw	номинальный ток короткого замыкания
I_{pk}	номинальное значение ударного тока
Icc	номинальный условный ток короткого замыкания
Ik	ожидаемый ток короткого замыкания
n	пик-фактор

Наши координаты

17861, Москва,
ул. Обручева, 30/1, стр. 2
Тел.: +7 (495) 960 2200
Факс: +7 (495) 960 2220

630007, Новосибирск,
ул. Карла Маркса, 47/2
Тел.: +7 (383) 346 5719
Факс: +7 (383) 315 4052

193029, Санкт-Петербург,
Б. Смоленский пр., 6
Тел.: +7 (812) 326 9915
Факс: +7 (812) 326 9916

420021, Казань,
ул. Н. Ершова, 1а
Тел.: +7 (843) 292 3971
Факс: +7 (843) 279 3331

664050, Иркутск,
ул. Лермонтова, 257
Тел.: +7 (3952) 56 3458
Факс: +7 (3952) 56 3459

443010, Самара,
ул. Красноармейская, 1
Тел.: +7 (846) 269 8047
Факс: +7 (846) 269 8046

394006, Воронеж,
ул. Свободы, 73
Тел.: +7 (4732) 39 3160
Факс: +7 (4732) 39 3170

450071, Уфа,
ул. Рязанская, 10
Тел.: +7 (347) 232 3484
Факс: +7 (347) 232 3484

603093, Нижний Новгород,
Мотальный пер., 8
Тел.: +7 (831) 461 9102
Факс: +7 (831) 461 9164

620066, Екатеринбург,
ул. Бархотская, 1
Тел.: +7 (343) 369 0069
Факс: +7 (343) 369 0000

344002, Ростов-на-Дону,
ул. 50-летия Россельмаша, 1/52
Тел.: +7 (863) 203 7177
Факс: +7 (863) 203 7177

350049, Краснодар,
ул. Красных Партизан, 495
Тел.: +7 (861) 221 1673
Факс: +7 (861) 221 1610

614077, Пермь,
ул. Аркадия Гайдара, 86
Тел.: +7 (342) 263 4334
Факс: +7 (342) 263 4335

По вопросам заказа оборудования обращайтесь к нашим официальным дистрибьюторам: <http://www.abb.ru/ibs>

9CND000000000339, август 2009 г., ООО "АББ", подразделение "Оборудование для автоматизации"