МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 35224— 2024 (IEC TR 60890:2022)

УСТРОЙСТВА КОМПЛЕКТНЫЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Расчетный метод проверки превышения температуры при протекании тока

(IEC TR 60890:2022, A method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and controlgear assemblies by calculation, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Акционерным обществом «Диэлектрические кабельные системы» (АО «ДКС») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии документа, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 октября 2024 г. № 178-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 октября 2024 г. № 1569-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 35224—2024 (IEC TR 60890:2022) введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2025 г.

5 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному документу IEC TR 60890:2022 «Метод проверки повышения температуры комплектных низковольтных устройств распределения и управления с помощью расчета» («A method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and controlgear assemblies by calculation», MOD) путем изменения отдельных фраз, слов, ссылок, которые выделены в тексте курсивом, а также изменения его структуры.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного документа для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5 (подраздел 3.6).

Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном документе, приведены в дополнительном приложении ДА.

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой указанного международного стандарта приведено в дополнительном приложении ДБ

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© IEC, 2022
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024



В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Условия проверки 2
5 Расчетный метод 3
6 Дополнительные аспекты 16
7 Оценка конструкции 16
Приложение *A* (рекомендуемое) Указания по учету влияния различных материалов, конструкции и защитных покрытий НКУ 17
Приложение *B* (рекомендуемое) Указания по учету влияния различных схем естественной вентиляции 19
Приложение *C* (рекомендуемое) Указания по учету влияния неравномерного распределения мощности 20
Приложение *D* (рекомендуемое) Расчет значений потерь мощности 22
Приложение *E* (рекомендуемое) Рабочий ток и потери мощности в медных проводниках 24
Приложение *F* (рекомендуемое) Примеры расчета превышения температуры воздуха внутри НКУ . . 28
Приложение *G* (рекомендуемое) Указания по учету влияния прилегающей стены на поверхности с эффективным рассеиванием тепла низковольтных комплектных устройств распределения и управления 36
Приложение *H* (рекомендуемое) Указания по учету дополнительного эффекта превышения температуры вследствие воздействия солнечного излучения 38
Приложение *I* (рекомендуемое) Указания по применению принудительной вентиляции 40
Приложение J (рекомендуемое) Указания по учету потерь мощности от магнитных и вихревых токов 41
Приложение K (рекомендуемое) Расчет расхода воздуха при принудительной вентиляции 42
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном документе 44
Приложение ДБ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного международного документа 45
Библиография 47

Введение

Настоящий стандарт определяет метод расчета повышения температуры воздуха внутри оболочек низковольтных комплектных устройств (НКУ) и устройств управления или аналогичных изделий разрабатываемых в соответствии с *ГОСТ IEC 61439-1. В 10.10 ГОСТ IEC 61439-1 изложены характеристики НКУ распределения и управления, допускающие проверку на превышение температуры расчетным методом.* Ответственность за выбор метода, используемого для проверки на превышение температуры, несет разработчик. Расчетный метод допускается применять для определения способности рассеивания тепловой мощности оболочкой в соответствии с ГОСТ IEC 62208 при заданном превышении температуры воздуха внутри НКУ.

Применяемые коэффициенты, приведенные в этом стандарте, были получены в результате измерений на испытанных НКУ, а метод проверен сравнением с результатами испытаний.

ГОСТ 35224—2024
(IEC TR 60890:2022)

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

УСТРОЙСТВА КОМПЛЕКТНЫЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Расчетный метод проверки превышения температуры при протекании тока

Low-voltage switchgear and controlgear assemblies.
Calculation method for checking temperature excess during current flow

Дата введения — 2025—01—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает расчетный метод проверки превышения температуры воздуха внутри оболочек для низковольтных комплектных устройств (НКУ) распределения и управления или аналогичных изделий в соответствии с соответствующими стандартами.

1.2 Настоящий стандарт предназначен для применения преимущественно к НКУ в оболочке или НКУ, разделенного перегородками на секции, без принудительной вентиляции. В настоящем стандарте приведены технические рекомендации для метода расчета НКУ с принудительной вентиляцией. Результаты, полученные при использовании данного метода, напрямую зависят от точности оценки потерь мощности, используемой в качестве исходных данных для выполнения тепловых расчетов.

Примечание — Температура воздуха внутри НКУ равна сумме температуры окружающего воздуха с внешней стороны НКУ и превышения температуры воздуха внутри НКУ, вызванного потерями мощности установленного оборудования.

Для применения данного метода максимальная среднесуточная температура окружающего воздуха в месте монтажа должна находиться в диапазоне от 10 °С до 50 °С. Максимальная суточная температура не должна превышать максимальную среднесуточную температуру более чем на 5 К.

Приложения к настоящему стандарту содержат сведенья о влиянии воздействий на превышение температуры в НКУ, которые не учитываются в рассматриваемом расчетном методе, например, в случае воздействия на НКУ солнечного излучения. В таких случаях применяют средства проверки, отличные от приведенных в настоящем стандарте, необходимые для обеспечения получения окончательного результата и проверки конструкции НКУ.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 14254—2015 (IEC 60529:2013) Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)

ГОСТ IEC 60947-2—2021 Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели

ГОСТ IEC 61439-1 Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Общие требования

ГОСТ IEC 61439-2 Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 2. Устройства распределения и управления электроэнергией

ГОСТ IEC 61439-3 Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 3. Распределительные щиты, предназначенные для управления неквалифицированными лицами

ГОСТ IEC 61439-4 Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 4. Частные требования к комплектным устройствам, используемым на строительных площадках

Издание официальное

ГОСТ IEC 61439-5 Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 5. Комплектные устройства для силового распределения в сетях общественного пользования

ГОСТ IEC 61439-6 Низковольтные комплектные устройства распределения и управления. Часть 6. Системы сборных шин (шинопроводы)

ГОСТ IEC 61439-7 Устройства распределения и управления комплектные низковольтные. Часть 7. Комплектные устройства специального применения, например, на стоянках для яхт, кемпингах, рыночных площадях, станциях зарядки электрических транспортных средств

ГОСТ IEC 61800-9-2 Системы силовых электроприводов с регулируемой скоростью. Часть 9-2. Энергоэффективность систем силовых электроприводов, пускателей электродвигателя, силовой электроники и электромеханических комплексов на их основе. Показатели энергоэффективности систем силовых электроприводов и пускателей электродвигателя

ГОСТ IEC 62208 Оболочки для низковольтных комплектных устройств распределения и управления. Общие требования

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (gost.e-ecolog.ru о указателям национальных стандартов, издаваемым в государствах, указанных в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на стандарт дана недатированная ссылка, то следует использовать стандарт, действующий на текущий момент, с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого стандарта. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ IEC 61439-1 — ГОСТ IEC 61439-7*.

4 Условия проверки

При применении расчетного метода *проверки превышения температуры воздуха внутри НКУ (далее — метод)* необходимо выполнение следующих условий:

- если НКУ предназначено для применения при переменном токе до 1600 А включительно и частоте до 60 Гц включительно, для более высоких номинальных токов или более высоких частот необходимо проведение дополнительных проверок для учета воздействия вихревых токов на распределение температуры внутри НКУ согласно требованиям соответствующих стандартов на продукцию.

Примечание — В *ГОСТ IEC 61439-2* установлены дополнительные требования для токов свыше 1600 А с целью учета значительно возросших потерь мощности вследствие магнитных эффектов (вихревые токи, эффект взаимного влияния, поверхностный эффект);

- если НКУ разработано для применения при постоянном токе до 3200 А включительно, для более высоких номинальных токов необходимо проведение дополнительных проверок согласно требованиям соответствующих стандартов на продукцию;
- проводники, проводящие переменный ток свыше 200 А, и расположенные рядом конструктивные элементы монтируют с учетом расстояний, обеспечивающих потери на гистерезис и от вихревых токов до пренебрежимо малых значений;
- потери мощности установленной аппаратурой и токоведущими элементами внутри НКУ распределены равномерно;
- данные о потери мощности аппаратурой и токоведущими элементами предоставлены или могут быть рассчитаны (см. раздел 5);
- установленное оборудование расположено таким образом, что циркуляция воздуха существенно не затруднена.

Примечание — При применении расчетного метода для определения способности рассеивания потери мощности пустой оболочкой по *ГОСТ IEC 62208* вышеуказанные условия не применимы.

5 Расчетный метод

5.1 Допущения, принятые в данном расчете

Для применения расчетного метода применяют следующие допущения:

- оболочка НКУ изготовлена из металла (сталь, алюминий, нержавеющая сталь) с покрытием (с обеих сторон, внутри и снаружи) из изоляционного материала, такого как термопластик или термореактивный пластик, или аналогичных им материалов (см. приложение *A*);
- НКУ изготовлено из однослойного материала или нескольких слоев материала без воздушного зазора;
- для НКУ с естественной вентиляцией или без нее в сборке или в секции НКУ имеется не более пяти горизонтальных перегородок;
- оболочка НКУ разработана без вентиляционных отверстий или со свободными вентиляционными отверстиями для притока и отведения воздуха без установки дополнительного фильтра (см. приложение *B*):

площадь поперечного сечения отверстий для притока воздуха не менее чем на 10 % больше площади поперечного сечения отверстий для отведения воздуха, чтобы реализовать эффект воздушной тяги;

минимальная площадь отверстий для притока воздуха составляет 10 $см^2$.

Примечание — *Рисунок 5 и формула, приведенная в таблице 7, неприменимы для меньших поперечных сечений. НКУ с суммарной площадью отверстий для притока воздуха менее 10 $см^2$ считаются как НКУ без притока воздуха;*

если НКУ имеет отверстия для притока и отведения воздуха, закрытые фильтрами для достижения степени защиты IP5X по *ГОСТ 14254* или выше, то поперечное сечение этих отверстий не учитывают при расчете;

если степень защиты НКУ ниже IP5X по *ГОСТ 14254*, для расчета следует использовать эффективное поперечное сечение отверстий (см. приложение *B*);

- если в НКУ с естественными вентиляционными отверстиями имеются отсеки, то площадь вентиляционных отверстий в каждой горизонтальной перегородке должна составлять не менее 50 % горизонтального поперечного сечения перегородки (см. *C.1*);
- потери мощности рассчитывают как сумму следующих величин:

потери мощности низковольтного коммутационного оборудования и устройств управления, установленных в НКУ (см. *D.2*);

потери мощности в проводниках и контактных соединениях НКУ (см. *D.3*);

потери мощности токоведущих шин (см. *D.4*);

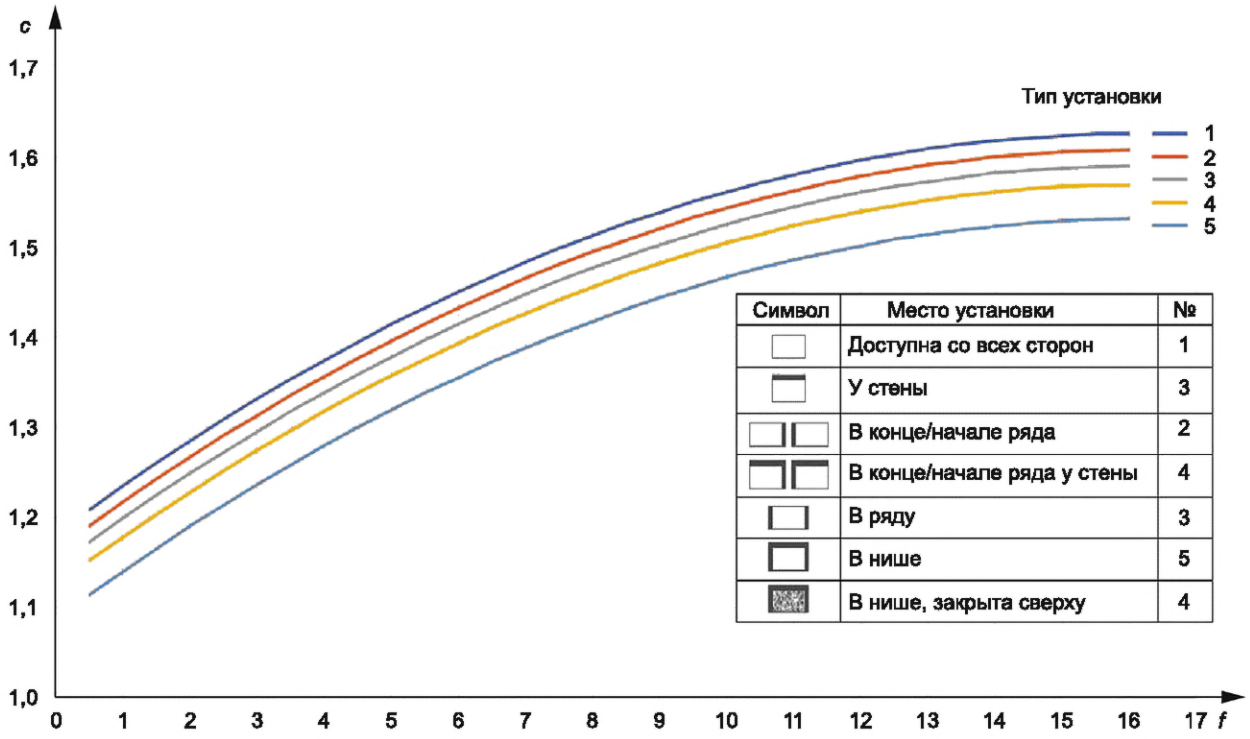
потери мощности электроаппаратов (см. *D.5*);

- НКУ не подвержено воздействию солнечного излучения.

5.2 Сведения, необходимые для выполнения расчета

Для расчета превышения температуры воздуха внутри НКУ необходимы следующие данные:

- размеры оболочки НКУ: высота/ширина/глубина;
- тип установки НКУ (в соответствии с рисунком 1);
- конструкция НКУ, т. е. с вентиляционными отверстиями или без них;
- количество внутренних горизонтальных перегородок;
- потери мощности оборудованием, установленным в НКУ (см. приложение *D*);
- потери мощности P_V проводников, приведенные в приложении *E*.



f — коэффициент высота/основание (см. 5.3.4); *c* — коэффициент распределения температуры (см. рисунки 2 и 3)

Примечания

1 Алгебраические выражения, относящиеся к характеристическим кривым, приведены в таблице 1.

2 Граничные условия: коэффициент *f* может принимать значения в диапазоне от 0,3 до 16.

Рисунок 1 — Коэффициент распределения температуры *c* для НКУ без вентиляционных отверстий, с отведением тепла за счет поверхностей с эффективным рассеиванием тепла A_e более 1,25 м^2

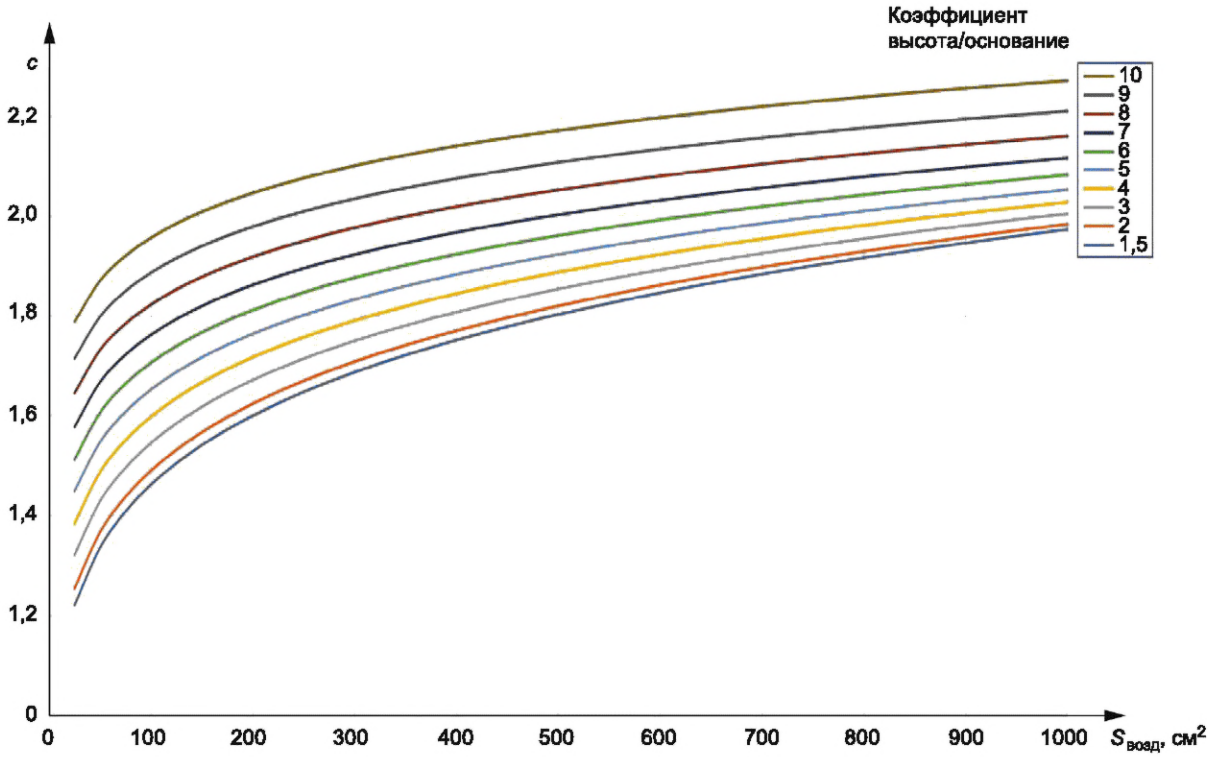
Таблица 1 — Уравнения для рисунка 1

Тип установки	Алгебраическое выражение
5	$c = -0{,}0017 \cdot f^2 + 0{,}055 \cdot f + 1{,}087$
4	$c = -0{,}0017 \cdot f^2 + 0{,}055 \cdot f + 1{,}125$
3	$c = -0{,}0017 \cdot f^2 + 0{,}055 \cdot f + 1{,}146$
2	$c = -0{,}0017 \cdot f^2 + 0{,}055 \cdot f + 1{,}164$
1	$c = -0{,}0017 \cdot f^2 + 0{,}055 \cdot f + 1{,}182$

Примечания

1 *c* — коэффициент распределения температуры.

2 *f* — коэффициент высота/основание ($0{,}3 \le f \le 16$). Если значение коэффициента *f* превышает 16, то значение коэффициента *c* рассчитывают при *f*, равном 16.



$S_{возд}$ — поперечное сечение отверстий для отведения воздуха (поперечное сечение отверстий для отведения воздуха должно быть не менее чем в 1,1 раза больше поперечного сечения отверстий для притока воздуха); c — коэффициент распределения температуры

Примечания

1 Алгебраические выражения, относящиеся к характеристическим кривым, приведены в таблице 2.

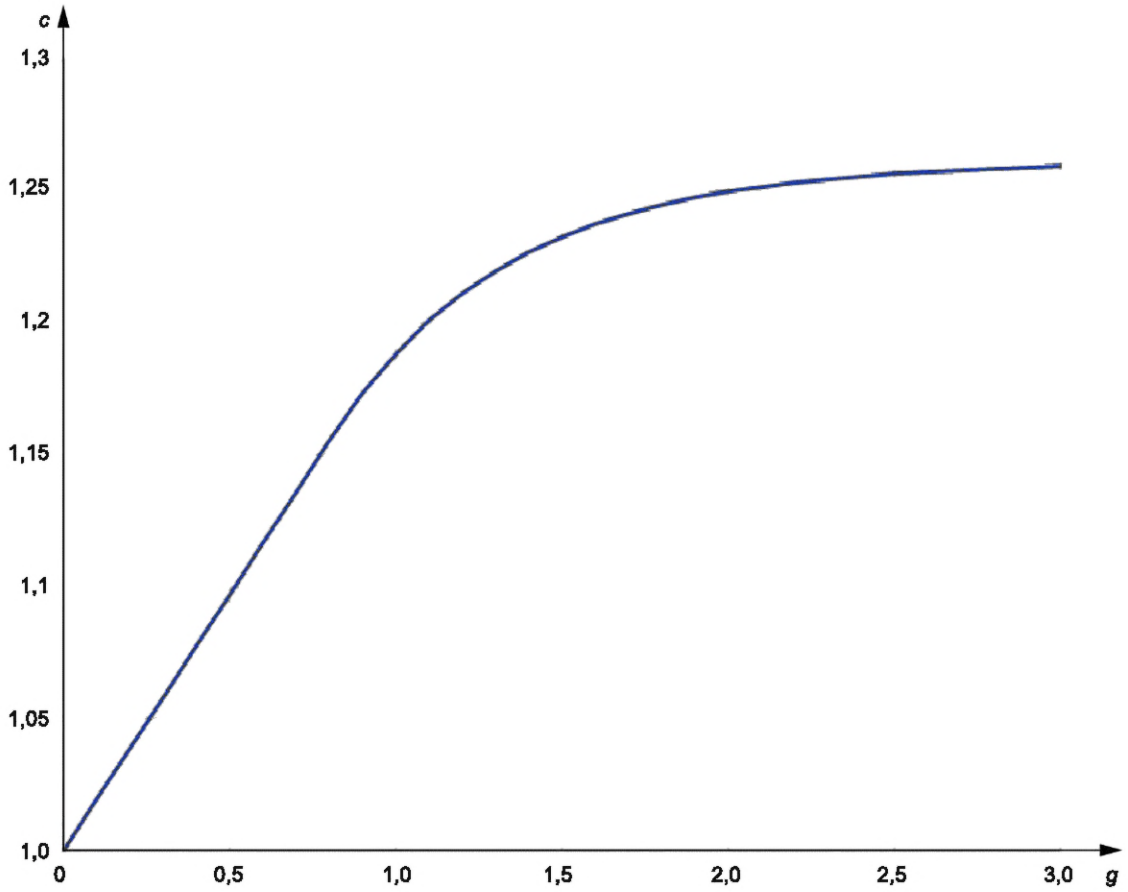
2 Коэффициент высота/основание f — согласно 5.3.4.

3 Граничные условия: коэффициент $S_{возд}$ может принимать значения в диапазоне от 10 (включительно) до 1000 см^2.

Рисунок 2 — Коэффициент распределения температуры для НКУ с вентиляционными отверстиями и с отведением тепла за счет поверхностей с эффективным рассеиванием тепла A_e более 1,25 м^2

Таблица 2 — Уравнения для рисунка 2

Переменная	Алгебраическое выражение
A_c	$A_c = 7{,}6 \cdot f + 69$
B_c	$B_c = 5{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot f^2 - 1{,}35 \cdot 10^{-2} \cdot f + 14{,}931 \cdot 10^{-2}$
c	$c = 0{,}01 \cdot A_c \cdot S_{возд}$ ^ B_c
Примечание — c — коэффициент распределения температуры; f — коэффициент высота/основание; $S_{возд}$ — поперечное сечение отверстий притока воздуха, см^2; A_c и B_c — промежуточные переменные для расчета коэффициента распределения температуры c.	



g — коэффициент высота/ширина (см. 5.3.4); *c* — коэффициент распределения температуры

Примечания

1 Алгебраические выражения, относящиеся к характеристическим кривым, приведены в таблице 3.

2 Граничные условия: коэффициент *g* может принимать значения в диапазоне от 0 до 3.

Рисунок 3 — Коэффициент распределения температуры *c* для НКУ без вентиляционных отверстий с отведением тепла за счет поверхностей с эффективным рассеиванием тепла A_e не более 1,25 м^2

Таблица 3 — Уравнения для рисунка 3

Переменная	Алгебраическое выражение
c	Если $g > 0{,}8147$, $c = 0{,}324055 \cdot (1 - e(-1{,}8827 \cdot g + 0{,}38579)) + 0{,}93643$. В противном случае $c = 0{,}19354 \cdot g + 1$
Примечание — *c* — коэффициент распределения температуры; *g* — коэффициент высота/ширина.	

5.3 Методика расчета

5.3.1 Общие положения

Для НКУ, указанных в таблице 4 (графы 4, 5), расчет превышения температуры воздуха внутри НКУ выполняют по формулам, приведенным в таблице 4 (графы 1—3).

Соответствующие коэффициенты и показатели (характеристики) определяют по таблице 4 (графы 6—10).

Обозначения и единицы измерения приведены в таблице 5.

Примеры применения расчетного метода приведены в приложении F.

Таблица 4 — Расчетный метод, сфера применения, формулы и характеристики

Формула расчета			НКУ		Характеристики					Характеристическая кривая
Поверхность НКУ с эффективным рассеиванием тепла A_e	Превышение температуры воздуха		Поверхность НКУ с эффективным рассеиванием тепла A_e, м^2	Описание конструкции[a]	Коэффициенты				Показатель	Графическое отображение характеристик превышения температуры
	в средней части высоты НКУ	в верхней части НКУ (с внутренней стороны)			b	k	d	c	x	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$A_e = \Sigma (A_o \cdot b)$	$\Delta t_{0,5} = k \times d \cdot P^x$	$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5}$	Св. 1,25	НКУ без вентиляционных отверстий	Таблица 6	Рисунок 5	Таблица 10	Рисунок 1	0,804	См. 5.3.5.2
				НКУ с вентиляционными отверстиями		Рисунок 6	Таблица 11	Рисунок 2	0,715	
			До 1,25 включ.	НКУ без вентиляционных отверстий		Рисунок 7	$d = 1$	Рисунок 3	0,804	См. 5.3.5.3

[a] Для НКУ с вентиляционными отверстиями и площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e не более 1,25 м^2 допускается применять критерии, указанные для НКУ без вентиляционных отверстий.

Таблица 5 — Обозначения и единицы измерения

Обозначение	Единица измерения	Определение
A_o	м^2	Площадь поверхности внешних сторон НКУ
$A_{осн}$	м^2	Площадь поверхности основания НКУ
A_e	м^2	Площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла НКУ
A_s	м^2	Площадь поверхности, которая может отводить тепло (как правило, без учета площади нижней части НКУ)
α	Вт/м^2 · К	Коэффициент теплопередачи (объединяет понятия теплопроводности и излучения тепла)
b	—	Коэффициент рассеивания тепла поверхностью НКУ
c	—	Коэффициент распределения температуры
c_p	Дж/кг · К	Теплоемкость (воздуха)
d	—	Коэффициент превышения температуры для внутренних горизонтальных перегородок внутри НКУ
f	—	Коэффициент высота/основание
g	—	Коэффициент высота/ширина
h	м	Высота НКУ
k	—	Постоянная оболочки
n	—	Количество внутренних горизонтальных перегородок (до пяти перегородок)
P	Вт	Потери мощности аппаратурой, установленной внутри НКУ (определяется согласно приложению *D*)
P_{890}	Вт	Расчетная рассеиваемая тепловая мощность НКУ согласно настоящему стандарту, без учета естественной вентиляции
$P_{вент}$	Вт	Расчетная рассеиваемая тепловая мощность принудительной вентиляцией
P_v	Вт	Потери мощности в проводниках
P_w	Вт	Общая рассеиваемая мощность
ρ	кг/м^3	Массовая плотность (воздуха) при $T_{окр}$
V	м^3/с	Объемный расход воздуха, проходящего через НКУ
$S_{возд}$	см^2	Поперечное сечение отверстий для притока воздуха
$T_{окр}$	°С	Температура окружающей среды
$T_{внутр}$	°С	Температура внутри НКУ
$T_{внутр\ max}$	°С	Максимальная температура, допустимая внутри НКУ (ограниченная, например, устройствами)
w	м	Ширина НКУ
x	—	Показатель зависимости превышения температуры
Δt	К	Превышение температуры воздуха внутри НКУ в целом
$\Delta t_{0,5}$	К	Превышение температуры воздуха в средней части высоты внутри НКУ
$\Delta t_{0,75}$	К	Превышение температуры воздуха верхней третей четверти высоты внутри НКУ
$\Delta t_{1,0}$	К	Превышение температуры воздуха в верхней части внутри НКУ

Для НКУ, имеющих более одной секции с вертикальными перегородками, превышение температуры воздуха внутри НКУ следует определять отдельно для каждой секции.

Если НКУ не имеет вертикальных перегородок или отдельные секции имеют поверхности с эффективным рассеиванием тепла более 11,5 м^2 или ширину более 1,5 м, их следует принять в виде секций, размеры которых соответствуют вышеуказанным значениям.

Примечание — В качестве вспомогательного средства при выполнении расчета допускается использовать шаблон расчета (см. рисунок 4).

Расчет превышения температуры воздуха внутри НКУ				
Заказчик/предприятие-изготовитель				
Тип НКУ				
Соответствующие размеры для превышения температуры	Высота	мм	Тип установки:	
	Ширина	мм	Вентиляционные отверстия:	да/нет
	Глубина	мм	Количество горизонтальных перегородок:	

поверхность с эффективным рассеиванием тепла		Размеры	A_o	Коэффициент поверхности b в соответствии с таблицей 6	$A_o \cdot b$ (графа 3 × графа 4)
		м × м	м^2		м^2
		2	3	4	5
	Верхняя				
	Фронтальная				
	Тыльная				
	Левая				
	Правая				
	$A_e = \Sigma(A_o \cdot b)$ = Итого				

При поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e	
Превышает 1,25 м^2	Не превышает 1,25 м^2
$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$ (см. 5.3.4) = ——— =	$g = \frac{h}{w}$ (см. 5.3.4) = ——— =

Отверстия для притока воздуха	см^2	
Постоянная оболочки k		
Коэффициент рассеивания тепла для горизонтальных перегородок d		
Эффективные потери мощности P	Вт	
$P^x = P\ldots$		
$\Delta t_{0,5} = k \cdot d \cdot P^x$	K	
Коэффициент распределения температуры c		
$\Delta t_{1,0} = c \cdot \Delta t_{0,5}$	K	

Рисунок 4 — *Шаблон* расчета превышения температуры воздуха внутри НКУ, лист 1

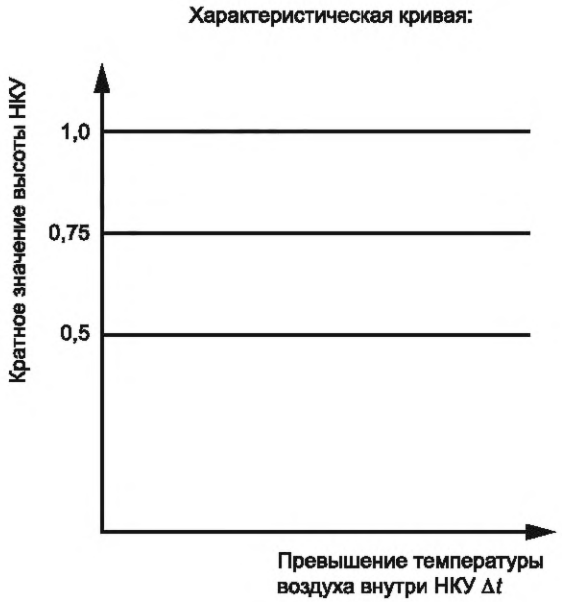
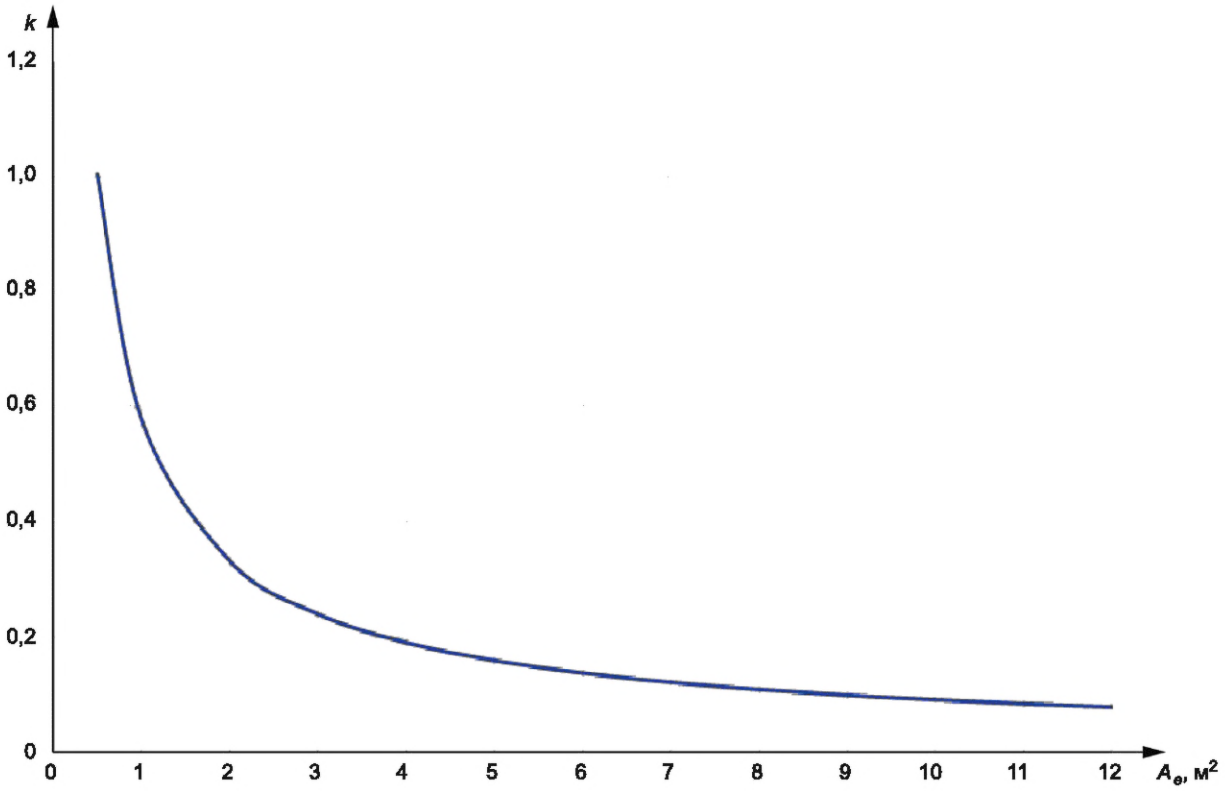


Рисунок 4, лист 2

Таблица 6 — Коэффициент поверхности *b* в зависимости от типа установки

Тип установки	Коэффициент рассеивания тепла поверхностью *b*
Открытая верхняя поверхность	1,4
Закрытая верхняя поверхность, например, встроенных НКУ	0,7
Открытые боковые поверхности, например, фронтальная, задняя и боковые стенки	0,9
Закрытые боковые поверхности, например, задняя сторона навесных НКУ	0,5
Боковые поверхности НКУ, установленных в ряду	0,5
Поверхность пола	Не учитывается
Примечание — Боковые поверхности секций (см. 5.3), которые были введены только для целей расчета, не учитывают.	



A_e — площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла (см. 5.3.2); k — постоянная оболочки (см. 5.3.3)

Примечания

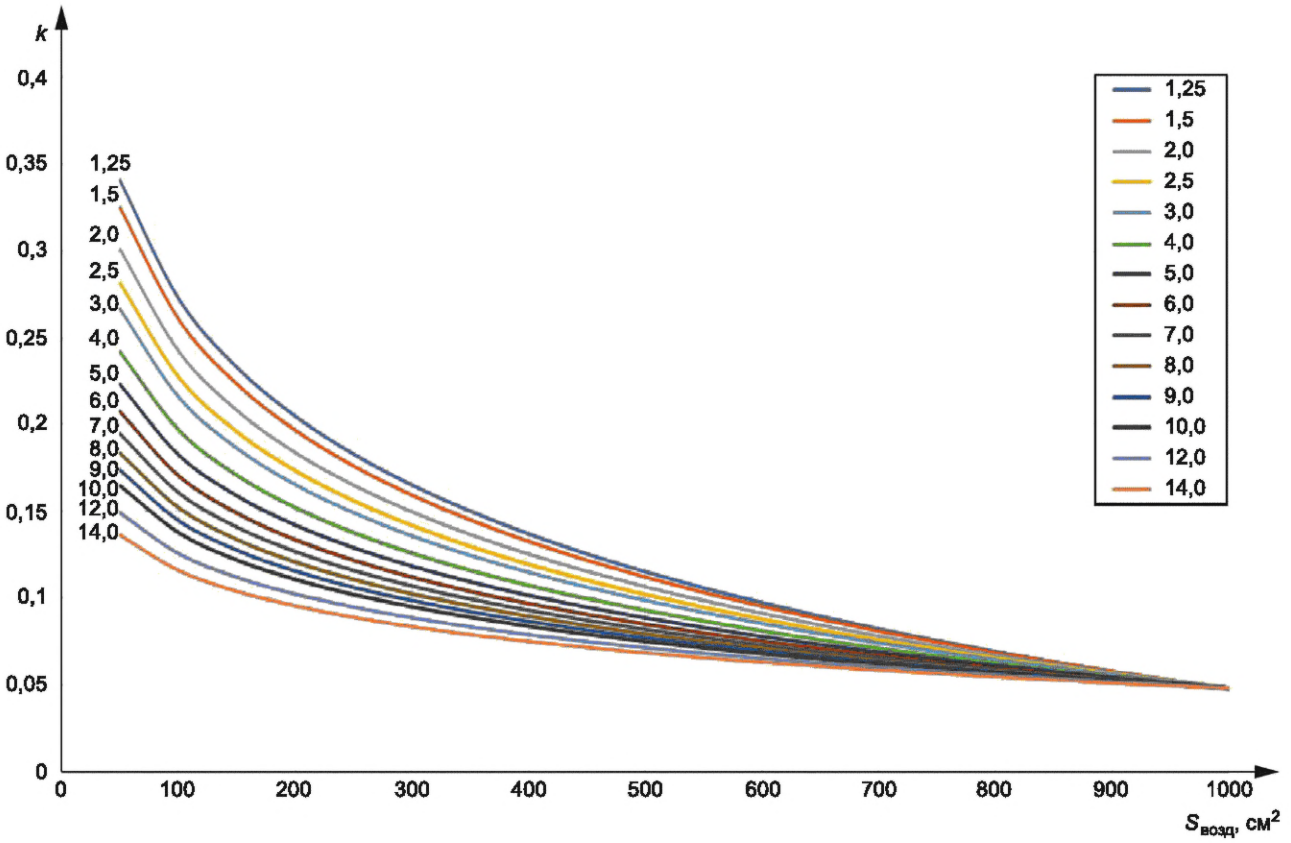
1 Алгебраические выражения, относящиеся к кривым, приведены в таблице 7.

2 Граничные условия: коэффициент A_e может принимать значения в диапазоне от 1,25 до 12.

Рисунок 5 — Постоянная оболочки k для НКУ без вентиляционных отверстий с площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e более 1,25 м^2

Таблица 7 — Уравнение для рисунка 5

Переменная	Алгебраическое выражение
k	$k = 0{,}58 \cdot (A_e)^{-0{,}795}$
Примечание — A_e — площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла, м^2; k — постоянная оболочки.	



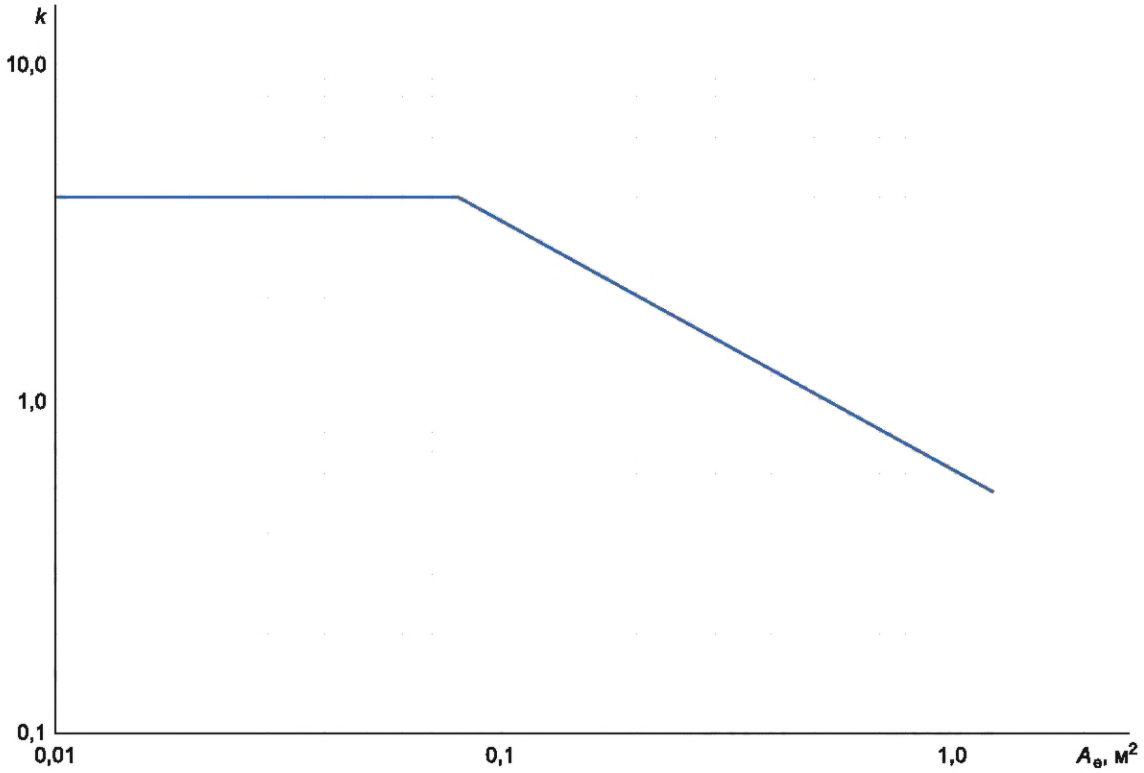
$S_{возд}$ — поперечное сечение соответствующих отверстий для отведения воздуха; k — постоянная оболочки (см. 5.3.3 и таблицу 8)

Примечание — Граничные условия: коэффициент $S_{возд}$ может принимать значения в диапазоне от 10 (включительно) до 1000 см^2.

Рисунок 6 — Постоянная оболочки k для НКУ с вентиляционными отверстиями с площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e более 1,25 м^2

Таблица 8 — Уравнения для рисунка 6

Переменная	Алгебраическое выражение
A_k	$A_k = 2{,}83 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(A_e) - 10{,}39 \cdot 10^{-2}$
B_k	$B_k = 19{,}52 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(A_e) - 76{,}56 \cdot 10^{-2}$
k	$k = A_k \cdot \ln(S_{возд}) - B_k$
Примечание — A_e — площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла, м^2; $S_{возд}$ — поперечное сечение отверстий притока воздуха, см^2; k — постоянная оболочки; A_k и B_k — промежуточные переменные для расчета постоянной оболочки k.	



A_e — площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла (см. 5.3.2); k — постоянная оболочки (см. 5.3.3)

Примечания

1 Алгебраические выражения, относящиеся к характеристическим кривым, приведены в таблице 9.

2 Граничные условия: значения коэффициента A_e не могут превышать 1,25.

Рисунок 7 — Постоянная оболочки k для НКУ без вентиляционных отверстий и с площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e не более 1,25 м^2

Таблица 9 — Уравнение для рисунка 7

Переменная	Алгебраическое выражение
k	$k = 4$, если $A_e < 0{,}08$; в противном случае $0{,}626 \cdot (A_e)^{-0{,}737}$
Примечание — A_e — площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла, м^2; k — постоянная оболочки.	

Таблица 10 — Коэффициент рассеивания тепла d для НКУ без вентиляционных отверстий и площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e более 1,25 м^2

Количество горизонтальных перегородок n	0	1	2	3	4	5
Коэффициент d	1,00	1,05	1,15	1,30	1,45	1,55
Примечание — Значения коэффициента d, отличные от приведенных в настоящей таблице, могут быть использованы после проведения сравнительных испытаний с аналогичными параметрами вентиляции.						

Таблица 11 — Коэффициент рассеивания тепла *d* для НКУ с вентиляционными отверстиями и площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e более 1,25 м^2

Количество горизонтальных перегородок *n*	0	1	2	3	4	5
Коэффициент *d*	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Примечание — Значения коэффициента рассеивания тепла *d*, отличные от приведенных в настоящей таблице, могут быть использованы после проведения сравнительных испытаний с аналогичными параметрами вентиляции.

5.3.2 Определение площади поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e НКУ

Расчет выполняют по формуле, приведенной в таблице 4 (графа 1).

Площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e НКУ представляет собой сумму отдельных поверхностей A_o, умноженную на коэффициент рассеивания тепла поверхностью *b*. Этот коэффициент учитывает теплоотдачу отдельных поверхностей в зависимости от типа установки НКУ (дополнительные пояснения приведены в приложении *G*).

5.3.3 Определение превышения внутренней температуры $\Delta t_{0,5}$ воздуха в центральной части НКУ

Расчет выполняют по формуле, приведенной в таблице 4 (графа 2).

В данной формуле постоянная оболочки *k* учитывает размер поверхности с эффективным рассеиванием тепла для НКУ без вентиляционных отверстий, а также для НКУ с вентиляционными отверстиями для притока воздуха.

Зависимость превышения температуры в НКУ от потерь мощности *P* выражается показателем *x*.

Коэффициент рассеивания тепла *d* позволяет учесть зависимость превышения температуры от количества внутренних горизонтальных перегородок.

5.3.4 Определение превышения внутренней температуры $\Delta t_{1,0}$ воздуха в верхней части НКУ

Расчет выполняют по формуле, приведенной в таблице 4 (графа 3).

Коэффициент с позволяет учесть распределение температуры внутри НКУ. Определение его значения зависит от конструкции и монтажа НКУ:

a) для оболочек без вентиляционных отверстий и площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла:

$$A_e > 1{,}25 \text{ м}^2.$$

Коэффициент *c* (см. рисунок 1) зависит от типа установки и коэффициента высота/основание *f*:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b};$$

b) для оболочек с вентиляционными отверстиями и с площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла:

$$A_e > 1{,}25 \text{ м}^2.$$

Коэффициент *c* (см. рисунок 2) зависит от поперечного сечения отверстий для притока воздуха и коэффициента высота/основание *f*:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b};$$

c) для оболочек без вентиляционных отверстий и с площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла:

$$A_e \le 1{,}25 \text{ м}^2.$$

Коэффициент *c* (см. рисунок 3) зависит от коэффициента высота/ширина *g*:

$$g = \frac{h}{w},$$

где h — высота НКУ, м;

A_b — площадь поверхности основания НКУ, м^2;

w — ширина НКУ, м.

5.3.5 Кривая, характеризующая превышение температуры воздуха внутри НКУ

5.3.5.1 Общие положения

Для оценки конструкции в соответствии с разделом 7 необходимо применить результаты расчетов по 5.3.3 и 5.3.4 с соответствующей кривой, характеризующей превышение температуры воздуха внутри НКУ в зависимости от высоты НКУ. Температура воздуха в пределах горизонтальных уровней практически постоянна.

5.3.5.2 Кривая, характеризующая превышение температуры для НКУ с площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e более 1,25 м^2

Как правило, кривая, характеризующая превышение температуры, представлена в виде прямой линии, проходящей через точки $\Delta t_{1,0}$ и $\Delta t_{0,5}$ (см. рисунок 8).

Превышение температуры воздуха внутри нижней части НКУ близко к нулю, т. е. характеристическая кривая выравнивается при приближении к нулевой отметке. На практике пунктирная часть кривой имеет второстепенное значение.

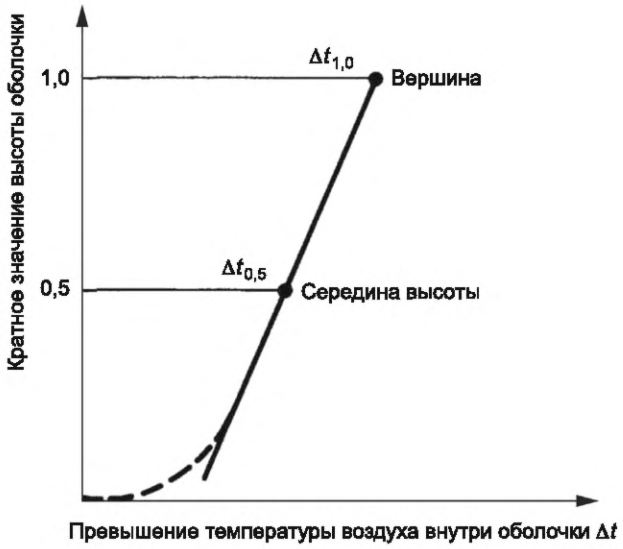


Рисунок 8 — Кривая, характеризующая превышение температуры для НКУ с площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e более 1,25 м^2

5.3.5.3 Кривая, характеризующая превышение температуры для НКУ с площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e не более 1,25 м^2

Для данного типа НКУ максимальное превышение температуры в верхней четверти является постоянным, а значения $\Delta t_{1,0}$ и $\Delta t_{0,75}$ одинаковы (см. рисунок 9).

Кривую получают путем соединения значений превышения температуры на уровне НКУ 0,75 и 0,5 от общей высоты НКУ (см. рисунок 9).

Превышение температуры воздуха внутри нижней части НКУ близко к нулю, т. е. кривая выравнивается при приближении к нулевой отметке. На практике пунктирная часть кривой имеет второстепенное значение.

5.4 Максимальные пределы температуры воздуха внутри НКУ

В настоящем стандарте представлен метод расчета температуры воздуха внутри НКУ. Полученная температура не должна превышать максимальную рабочую температуру, допустимую для различных типов устройств и изделий, установленных внутри.



Рисунок 9 — Кривая, характеризующая превышение температуры для НКУ с площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e не более 1,25 м^2

Пользователь настоящего стандарта должен обратиться к инструкциям изготовителя относительно максимальной рабочей температуры, допустимой для устройств, применяемых внутри НКУ.

Примечание — Значение температуры воздуха внутри НКУ оказывает непосредственное воздействие на старение и работу встроенной аппаратуры и комплектующих.

6 Дополнительные аспекты

6.1 Общие положения

Представленные в настоящем стандарте способы расчета превышения температуры относятся к указанным типам установки НКУ. Тип установки и условия эксплуатации не распространяются на все конструкции НКУ или условия, в которых они могут быть установлены. Применение более передовых методов расчета, чем представленные в настоящем стандарте, могут приводить к другим расчетным значениям.

В приложениях *A* — *C*, *G* — *K* подробно изложена передовая практика, которая может привести к получению более точных тепловых характеристик или определенных аспектов, не учтенных в методах расчета по настоящему стандарту. Однако, при реализации данных дополнительных аспектов для обеспечения определенных характеристик НКУ следует выполнить дополнительную проверку при помощи проведения сравнительных испытаний.

6.2 Указания по учету влияния неравномерного распределения мощности

Определение превышения температуры при неравномерном распределении потерь мощности в НКУ на основе учета превышения температуры контрольной конструкции или расчетов в соответствии с разделом 5 является основным аспектом приложения *C*.

6.3 Указания по учету дополнительного эффекта превышения температуры вследствие воздействия солнечного излучения

В случае НКУ для наружной установки, подверженных воздействию прямых солнечных лучей, солнечное излучение может значительно увеличить превышение температуры воздуха внутри НКУ, вследствие чего потребуется снижение номинальных токов НКУ (см. приложение *H*).

7 Оценка конструкции

Следует определить, возможна ли удовлетворительная работа оборудования в НКУ при соответствующем расчетном превышении температуры воздуха внутри НКУ. В противном случае необходимо изменить значения параметров и повторно выполнить расчет.

Приложение *А*
(рекомендуемое)

Указания по учету влияния различных материалов, конструкции и защитных покрытий НКУ

А.1 Общие положения

Толщина стенок и материалы, применяемые при производстве внешних элементов конструкции НКУ, оказывают воздействие на установившуюся температуру внутри. Например, на эффект теплового излучения влияет тип покрытия, в то время как толщина и материал стенок влияют на теплопроводность, а также на эффект конвекции на внешних поверхностях.

А.2 Критерии достоверности

Обобщенный подход, используемый в расчетном методе, применим к НКУ с внешними элементами конструкции, изготовленными из металла (сталь, алюминий, нержавеющая сталь) с покрытием (с обеих сторон, внутри и снаружи), из изоляционного термопластичного, термоотверждаемого материала или аналогичных им материалов, что подтверждают пояснения, основанные на результатах испытаний (см. *А*.3).

Расчетный метод по настоящему стандарту неприменим к НКУ с внешними элементами, изготовленными из стали, алюминия или нержавеющей стали без покрытия, в связи с снижением излучаемого теплообмена (см. *А*.3 для учета последствий использования металла без покрытия).

Примечание — Все виды краски в жидком состоянии, лак, эпоксидную смолу, независимо от цвета, считают поверхностями с покрытием. Анодированная обработка алюминиевых внешних элементов НКУ также считается поверхностью с покрытием.

В стенках НКУ (например, огнестойкие НКУ) могут быть предусмотрены воздушные зазоры между внутренней и внешней поверхностью (НКУ с двустенными внешними элементами) либо теплоизоляционный материал. В этом случае метод неприменим без дополнительной проверки проведением испытаний. Допускается выполнять дополнительную проверку методом сравнения для обеспечения требуемого значения понижающего коэффициента или определения площади поверхности с эффективным рассеиванием тепла указанного типа НКУ.

А.3 Материал внешних элементов конструкции НКУ

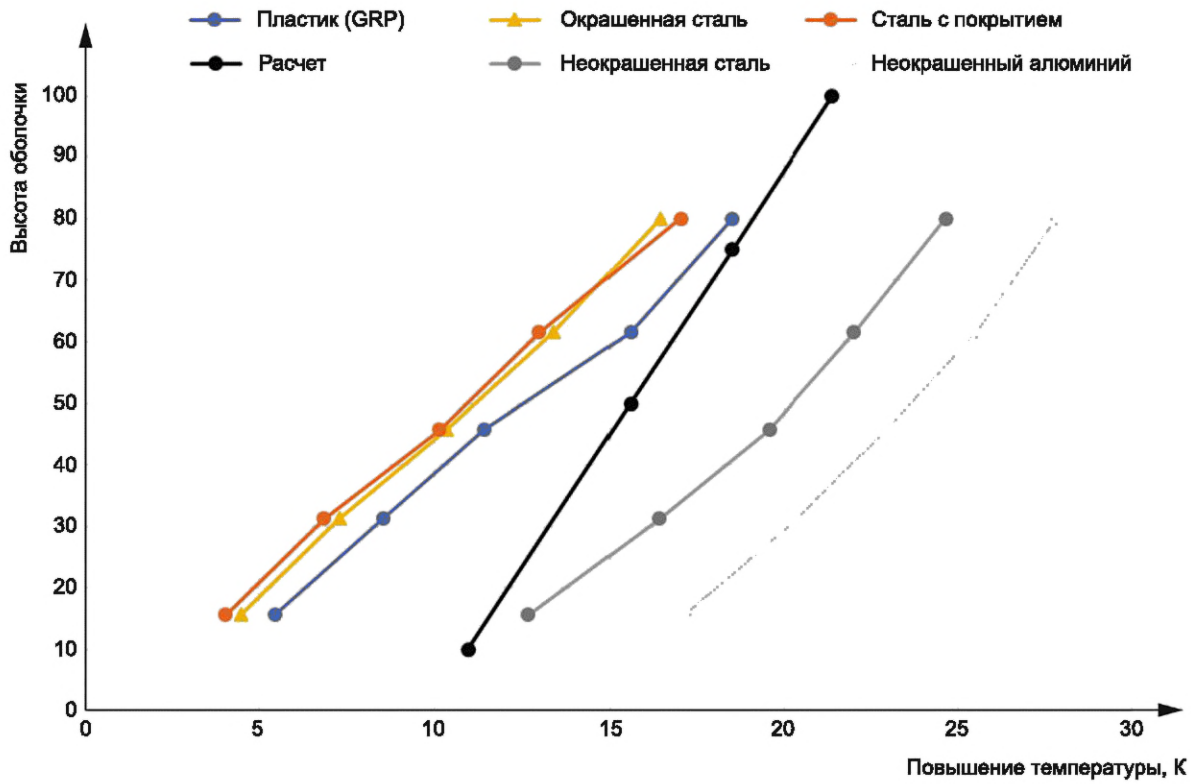
Оболочка НКУ, изготовленного из реактопластов, таких как полиэстер, армированный стекловолокном, сравнивают с пластиковым покрытием и окрашенной сталью (цвета RAL 7032, одинакового с цветом НКУ).

Испытания проводят с использованием установленных внутри НКУ терморезисторов, обеспечивающих имитируемые *потери выделяемой мощности* 90 Вт, равномерно распределенные внутри НКУ, для поддержания превышения температуры $\Delta t_{1,0}$ в верхней части НКУ примерно на 20 К. Для исключения эффекта естественной вентиляции отбирают или изготавливают НКУ с обеспечением степени защиты IP6X *по ГОСТ 14254*.

Температурные режимы НКУ с внешними элементами конструкции, изготовленными из окрашенных металлических, металлических с покрытием и пластиковых элементов, схожи (разница составляет всего 2—3 К), что не считается существенным, поскольку измеренные значения меньше расчетных. Результаты, полученные при изготовлении НКУ с внешними элементами конструкции без покрытия, значительно отличаются, что подтверждается областью применения настоящего стандарта, который распространяется на НКУ с внешними элементами конструкции из металла (сталь, алюминий, нержавеющая сталь), с покрытием (с обеих сторон, внутри и снаружи) изоляционного термопластичного, термоотверждаемого материала или аналогичного.

А.4 Результаты

Результаты приведены на рисунке А.1.



Примечание — Кривые разного цвета относятся к НКУ с внешними элементами конструкции, изготовленными из различных материалов.

Рисунок *А.1* — Результаты сравнительных испытаний

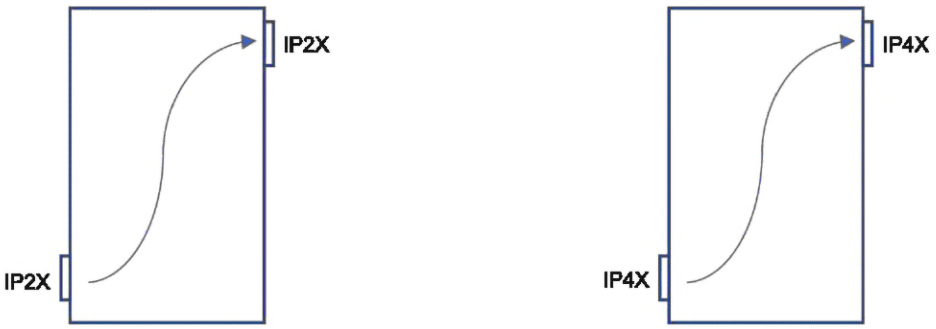
Приложение *B*
(рекомендуемое)

Указания по учету влияния различных схем естественной вентиляции

В целях эффективности естественной конвекции в НКУ поперечное сечение отверстий для отведения воздуха должно быть не менее чем на 10 % больше поперечного сечения отверстий для притока воздуха, что необходимо для обеспечения (или поддержания) эффекта тяги воздуха. Если это соотношение не выполняется, например, когда отверстия для притока и отведения воздуха имеют одинаковое поперечное сечение, эффект естественной вентиляции может быть учтен при расчете с использованием опорного значения, но не реального поперечного сечения входных отверстий, а опорного значения, равного 90 % поперечного сечения выходных отверстий.

Примечание — На практике правило о поперечном сечении выходных отверстий, большем на 10 % *по сравнению с входными*, допустимо получить с помощью различного количества входных и выходных отверстий, которое может быть получено при различном количестве отверстий с заданным шагом.

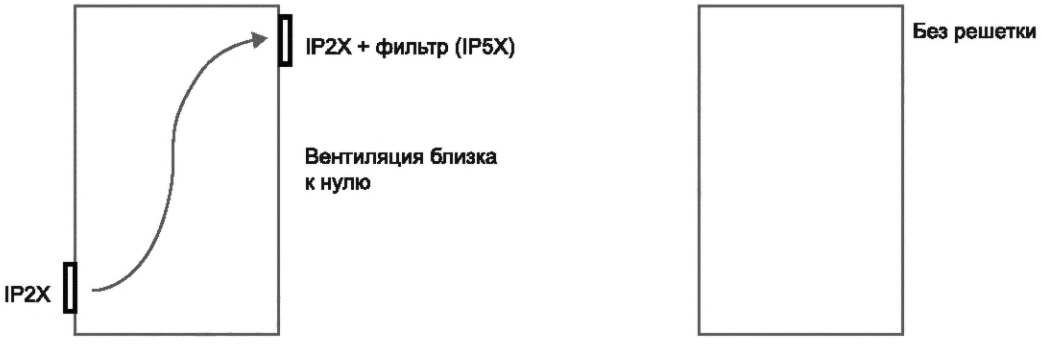
На эффективность вентиляции влияет конструкция вентиляционных отверстий. Размер отверстий в решетках влияет на скорость движения воздуха. Расчетный метод по настоящему стандарту учитывает средний температурный режим, и при одинаковой площади поверхности с эффективным рассеиванием тепла *для степени защиты НКУ* в диапазоне от IP2X до IP4X *по ГОСТ 14254—2015 (см. рисунок B.1)* полученные результаты допускается считать одинаковыми.



a) *Степень защиты* IP2X b) *Степень защиты* IP4X

Рисунок *B.1* — Примеры диагональной установки

Вследствие низкой скорости воздуха, создаваемой естественной вентиляцией, согласно приведенному примеру на рисунке *B.2* а) скорость воздуха значительно снижается (иногда может быть близка к нулю) при установке к входным и выходным *отверстиям* дополнительного фильтра со степенью защиты IP5X *по ГОСТ 14254* или выше. Следовательно, расчет необходимо выполнять исходя из отсутствия вентиляционных отверстий [(см. рисунок *B.2* b)].



a) IP20 + фильтр b) Термически эквивалентный

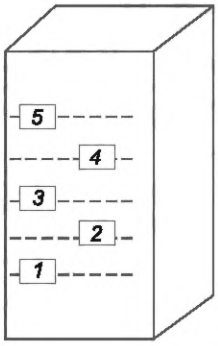
Рисунок *B.2* — Влияние дополнительного фильтра

Приложение *С*
(рекомендуемое)

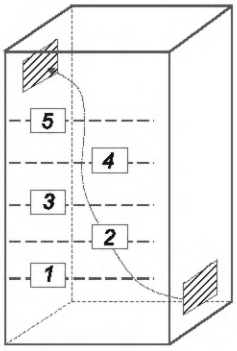
Указания по учету влияния неравномерного распределения мощности

С.1 Горизонтальное разделение

В типовых НКУ, используемых для распределения электрической энергии, функциональные блоки устанавливают один над другим с горизонтальными перегородками между каждым из функциональных блоков. Примеры, приведенные на рисунке С.1, содержат типовые схемы установки.



a) НКУ без вентиляционных отверстий и перфорацией менее 50 % в горизонтальной перегородке



b) НКУ с вентиляционными отверстиями и перфорацией не менее 50 % в горизонтальной перегородке

1 — *5* — горизонтальные перегородки

Рисунок *С.1* — Примеры НКУ с горизонтальными перегородками

Принятые в разделе 5 допущения к методу расчета:

1) существует равномерное распределение мощности в НКУ;

2) для вентилируемого НКУ площадь вентиляционных отверстий (перфорации) в каждой горизонтальной перегородке составляет не менее 50 % от горизонтального поперечного сечения отсека для обеспечения достаточного потока воздуха через него.

В определенных НКУ, например, конкретных конструкциях щита со съемными (выдвижными/втычными) блоками вышеуказанные условия не выполняются; неравномерное распределение мощности может быть результатом того, что один функциональный блок имеет существенно более высокую мощность потерь на единицу объема (съемный блок с более высокой мощностью потерь), чем другие, и (или) перфорации в горизонтальных перегородках могут составлять значительно меньше 50 % от горизонтального поперечного сечения отсека.

С.2 Расчет превышения температуры воздуха внутри НКУ с вентиляционными отверстиями при равномерном распределении мощности и перфорацией менее 50 % в горизонтальных перегородках

Превышение температуры при условии отсутствия вентиляции рассчитывают исходя из допущения, что мощность потерь равномерна в пределах рассматриваемой секции. Температура воздуха в любой части внутри секции не должна превышать максимальную рабочую температуру, допустимую для аппаратуры и комплектующих, установленных внутри секции (см. 5.4).

С.3 Расчет превышения температуры воздуха внутри НКУ при неравномерном распределении мощности

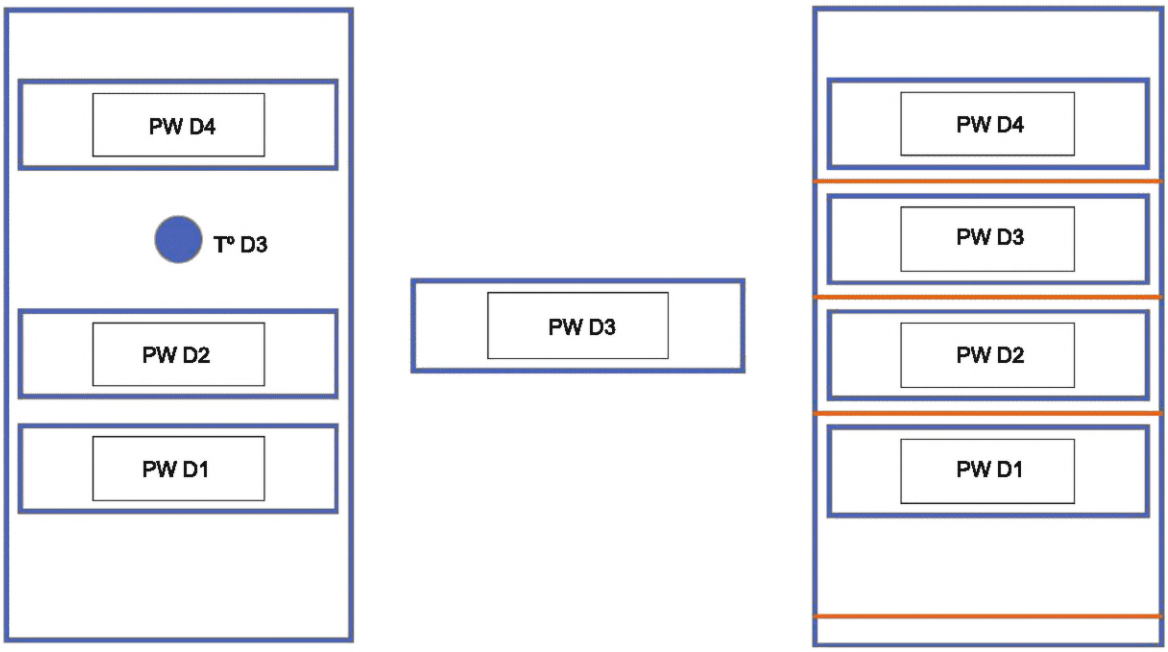
Методика расчета в данном случае состоит из двух или трех этапов:

- первый этап: определить превышение температуры воздуха в той точке секции, где должен быть расположен съемный блок с наибольшей мощностью потерь. Точку наибольшего значения температуры в секции определяют при испытании на превышение температуры контрольной конструкции. Допускается определение точки наибольшего значения температуры в секции расчетным методом на основе положений настоящего стандарта. В этом случае точкой наибольшего значения температуры будет съемный блок с наибольшей мощностью потерь относительно общей мощности потерь секции и при этом исключают мощности потерь в силовой цепи, например, T° D3 на рисунке *С.2*;

- второй этап: съемный блок с наибольшей мощностью потерь (PW D3 на рисунке *С.2*) установлен в рабочее положение. В этом случае применяют коэффициенты для закрытых поверхностей согласно таблице 6 и рассчитывают температуру воздуха внутри PW D3 в соответствии с 5.3 с использованием размеров PW D3 и с учетом температуры окружающей среды T° D3. Рассчитанная температура воздуха внутри PW D3 не должна

превышать максимальную рабочую температуру, допустимую для аппаратуры комплектующих устанавливаемых внутри PW D3 (см. 5.4);

- третий этап: если съемный блок с наибольшей мощностью потерь расположен в верхней части секции, данный этап пропускают. В других случаях рассчитывают температуру воздуха внутри секции по 5.3 с учетом общей мощности потерь в секции. Рассчитанная температура воздуха в любой точке установки аппаратуры и *комплектующих* внутри секции не должна превышать максимальную рабочую температуру, допустимую для аппаратуры и комплектующих, определенных в 5.4.



Этап 1: расчет температуры воздуха внутри секции без съемного блока с наибольшей мощностью потерь

Этап 2: расчет температуры воздуха в съемном блоке с наибольшей мощностью потерь при условии, что температура воздуха составляет T° D3

Этап 3: расчет температуры воздуха внутри секции, включая съемный блок с наибольшей мощностью потерь

Рисунок *С.2* — Проверка превышения температуры съемного блока с наибольшей мощностью потерь

Приложение *D*
(рекомендуемое)

Расчет значений потерь мощности

D.1 Общие положения

Точность расчета значений потери мощности напрямую зависит от точности используемых значений потерь мощности аппаратурой и комплектующими. Важно учитывать наиболее тяжелые условия в рабочем режиме, в том числе потери мощности коммутационными и разъединяющими устройствами, электронными устройствами, кабелями, токоведущими шинами, вспомогательными источниками питания и т. д.

D.2 Потери мощности в низковольтных комплектных устройствах распределения и управления

Как правило, изготовитель устройства предоставляет значения потерь мощности для устройств собственного изготовления при определенных условиях. Следует убедиться, что указанные значения потерь мощности соответствуют применяемым условиям, например, потери мощности могут быть указаны для каждого полюса (в случае трехполюсного устройства). Кроме того, поскольку потерь мощности часто зависят от тока, ее необходимо корректировать с учетом потери мощности при расчетных условиях эксплуатации НКУ. В противном случае общие потери мощности, определенные для НКУ, могут оказаться выше, чем при практическом применении, и привести к завышению размеров НКУ.

НКУ могут содержать автоматические выключатели, переключатели, плавкие предохранители, контакторы, тепловые реле и разъединители. В стандартах на устройства, как правило, приведены указания по определению потери мощности методом испытаний [в частности см. *ГОСТ IEC 60947-2—2021* (приложение G)]. В этом случае потери мощности, как правило, указывают в паспортах или каталоге *на устройства*. Если потери мощности для устройств, содержащихся в НКУ, не указаны, изготовитель устройства обязан предоставить рекомендуемые для применения значения и сведения о пропорциональности *потерь мощности* значению I^2 в зависимости от фактической нагрузки.

Следует учитывать репрезентативные для реальных условий эксплуатации потери мощности. При этом необходимо учитывать следующие условия: в случае отсутствия соглашений между изготовителями НКУ и *конкретного* устройства либо при отсутствии иных указаний потери мощности считают измеренными:

- в условиях полной нагрузки (например, при номинальном токе I_n или I_e);
- с устройством при установившейся температуре;
- при однофазном или трехфазном питании в зависимости от типа устройства;
- при частоте, соответствующей условиям конечного применения.

D.3 Потери мощности в проводниках, соединяющих низковольтные комплектные устройства распределения и управления

Потери мощности в проводниках (проводах, кабелях, шинах и т. п.), соединяющих коммутационные аппараты внутри НКУ, составляют незначительную часть общих потерь мощности. Метод расчета потерь мощности для кабелей и проводов приведен в приложении *E*, а указания по минимизации дополнительной потери мощности — в приложении J. Мощность потерь пропорциональна длине кабеля (или провода) и квадратному значению фактического тока I^2, протекающего по нему.

В программном обеспечении для повышения точности расчета необходимо учитывать реальные длины токоведущих элементов. Все кабели и провода должны быть приведены в соответствие с ожидаемым значением тока (номинальным током цепи).

D.4 Потери мощности в шинах

Потери мощности в соединительных проводниках коммутационных аппаратов, сборных и распределительных шинах (при наличии) являются частью общей потери мощности внутри НКУ. Значения потери мощности пропорциональны длине и квадратному значению фактического тока I^2, протекающего через шину. Длину многофазной системы токоведущих шин допускается определять для каждой конфигурации с учетом среднего значения длины фаз. Потери мощность необходимо рассчитывать с учетом ожидаемого значения тока (номинального тока цепи).

Технические характеристики для расчета потери мощности системой шин приведены в *[1]* для алюминиевой шины и *[2]* для гибридной шины при одинаковой схеме установки и значениях номинального тока, приведенных в таблице *E.3*.

Примечание — Изготовители могут предоставить заданные значения потери мощности для выпускаемого ассортимента шин с учетом формы, материалов и динамических воздействий магнитного поля (полученных в результате измерений).

D.5 Потери мощности электронными устройствами

Часть устройств имеет независимую мощность потерь, т. е. не пропорциональную квадратному значению тока, например, катушка контактора или электронные устройства, такие как модемы программируемых логических контроллеров, источники питания электронных компонентов. Для всех перечисленных комплектующих необходимо определить потери мощности и учесть их в составе общей мощности потерь при расчете теплового баланса.

При расчетах потери мощности учитывают два типа электронных функций:

- не зависящие от тока, например, модемы, устройства связи, блоки управления. В этом случае при расчете учитывают только мощность потерь устройством. Мощностью потерь кабельными и проводниковыми соединениями допускается пренебречь;

- токозависимые, например, электроприводы с регулируемой скоростью, пускатели, диммеры в соответствии с предоставляемыми изготовителем данными об устройстве. Для электроприводов с регулируемой скоростью рекомендуется руководствоваться расчетом потери мощности, указанной в *ГОСТ IEC 61800-9-2*. Кабельные и проводниковые соединения в случае токозависимых устройств следует учитывать в общей мощности потерь устройствами.

Приложение *Е*
(рекомендуемое)

Рабочий ток и потери мощности в медных проводниках

Максимально допустимый рабочий ток проводника зависит от многих факторов:
- материала, типа изоляции и расположения проводников, совместной прокладки;
- взаимного влияния аппаратуры, подключенной к проводнику;
- взаимного влияния соседней аппаратуры и проводников, относящихся к другим цепям;
- температуры воздуха внутри НКУ вокруг проводника;
- температуры и теплопроводности конструктивных элементов, касающихся проводника или находящихся в непосредственной близости от него.

Потери мощности в проводниках зависят:
- от рабочего тока и его частоты;
- материала и температуры проводника;
- формы проводника (поверхностный эффект);
- магнитного воздействия соседних проводников и магнитных свойств элементов конструкции (эффект близости).

В таблицах *Е.1* и *Е.2* приведены общие значения рабочих токов и потерь мощности одножильных медных кабелей и голых медных шин для идеальных условий внутри НКУ. Метод расчета позволяет получить по данным значениям значения для других условий.

Максимальные рабочие токи, приведенные в таблицах настоящего приложения, не относятся к проводникам, используемым в НКУ, проверенных испытаниями по *ГОСТ IEC 61439-1*.

Потери мощности действительны для соответствующего рабочего тока, значения которого приведены в таблицах настоящего приложения. Для прочих нагрузок потери мощности рассчитывают по формуле

$$P = P_V = \left(\frac{I}{I_{max}}\right)^2, \qquad (E.1)$$

где P — потери мощности, Вт/м;

I — ток проводника (нагрузка), *А*;

I_{max} — максимальный рабочий ток, *А*;

P_V — потери мощности при I_{max}, *Вт/м*;

$$I_{max} = I_{30} \cdot k_1 \cdot k_2, \qquad (E.2)$$

$$P_V = I^2_{max} \cdot R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_c - 20\ °C)], \qquad (E.3)$$

где I_{30} — максимальный рабочий ток одножильного проводника для температуры воздуха вокруг проводника 30 °С, А;

k_1 — понижающий коэффициент для температуры воздуха внутри НКУ вокруг проводников (см. [3], таблица B.52.14).

k_1 = 0,61 для проводников с рабочей температурой 70 °С и температурой окружающего воздуха 55 °С.

Значения k_1 для других температур воздуха приведены в таблице *Е.3*;

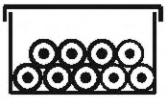
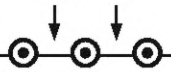
k_2 — понижающий коэффициент для групп из более чем одной цепи [дальнейшие пояснения приведены в таблице *Е.1*, сноски b) — e)];

α — температурный коэффициент сопротивления меди, α = 0,004 $К^{-1}$;

T_c — температура проводника, °*С*.

Если рабочий ток, указанный в таблице *Е.1*, пересчитан с применением понижающего коэффициента k_1 для других температур воздуха, то и соответствующие потери мощности рассчитывают по формуле (*Е.3*).

Таблица Е.1 — Рабочий ток и потери мощности в одножильных медных кабелях с допустимой температурой проводника 70 °С (при температуре окружающего воздуха внутри НКУ 55 °С)

Основные характеристики проводника		 Одножильные кабели в кабельном желобе с горизонтальной и вертикальной прокладкой по стене. Шесть кабелей (две трехфазные цепи) с длительной нагрузкой		 Одножильные кабели со свободной прокладкой в воздухе или в перфорированном лотке. Шесть кабелей[a] (две трехфазные цепи) с длительной нагрузкой		Расстояние между кабелями не менее одного диаметра кабеля  Одножильные кабели с горизонтальной прокладкой в воздухе	
Поперечное сечение проводника, мм^2	Сопротивление проводника при 20 °С R_{20}[b], мОм/м	Максимальный рабочий ток I_{max}[c], А	Потери мощности в проводнике P_v, Вт/м	Максимальный рабочий ток I_{max}[d], А	Потери мощности в проводнике P_v, Вт/м	Максимальный рабочий ток I_{max}[e], А	Потери мощности в проводнике P_v, Вт/м
0,50	36,0000	3,5	0,6	—	—	—	—
0,75	24,5000	5,0	0,7	—	—	—	—
1,00	18,1000	6,0	0,7	—	—	—	—
1,50	12,1000	7,5	0,8	9	1,3	15	3,2
2,50	7,4100	10,0	0,9	13	1,5	21	3,7
4,00	4,6100	14,0	1,0	18	1,7	28	4,2
6,00	3,0800	18,0	1,1	23	2,0	36	4,7
10,00	1,8300	24,0	1,3	32	2,3	50	5,4
16,00	1,1500	33,0	1,5	44	2,7	67	6,2
25,00	0,7270	43,0	1,6	59	3,0	89	6,9
35,00	0,5240	54,0	1,8	74	3,4	110	7,7
50,00	0,3870	65,0	2,0	90	3,7	134	8,3
70,00	0,2680	83,0	2,2	116	4,3	171	9,4
95,00	0,1930	101,0	2,4	142	4,7	208	10,0
120,00	0,1530	117,0	2,5	165	5,0	242	10,7
150,00	0,1240	—	—	191	5,4	278	11,5
185,00	0,0991	—	—	220	5,7	318	12,0
240,00	0,0754	—	—	260	6,1	375	12,7
300,00	0,0601	—	—	301	6,6	432	13,5

[a] Значения коэффициентов установлены исходя из горизонтальной прокладки кабеля по причине ничтожного воздействия при вертикальной прокладке кабеля внутри НКУ.

[b] Значения согласно *[4]* (таблица 2, графа 8) (скрученные многожильные проводники).

[c] Проводящая способность I_{30} для одной трехфазной цепи по *[3]* (таблица B.52.4, графа 4) (рекомендованный способ установки: пункт B.1 таблицы B.52.1), k_2 = 0,8 (таблица B.52.17, пункт 1, две цепи).

[d] Проводящая способность I_{30} для одной трехфазной цепи по *[3]* (таблица B.52.10, графа 5) (способ установки: таблица B.52.1, пункт F). Значения поперечных сечений менее 25 мм^2 рассчитывают согласно *[3]* (приложение D). k_2 = 0,88 (исходя из экспериментального пункта 4 таблицы B.52.17, две цепи, что является более предпочтительным по сравнению с таблицей B.52.21).

[e] Проводящая способность I_{30} для одной трехфазной цепи по *[4]* (таблица B.52.10, графа 7) (способ установки: таблица B.52.1, графа 1, пункт G). Значения поперечных сечений менее 25 мм^2 рассчитывают согласно *[3]* (приложение D). k_2 = 1.

Таблица *E.2* — Рабочий ток и потери мощности неизолированных медных шин прямоугольного поперечного сечения, проложенных горизонтально и расположенных так, чтобы их наибольшая поверхность была вертикальной (ток постоянный и переменный, частоты 16 2/3, 50 и 60 Гц; температура окружающего воздуха внутри НКУ 55 °С, температура проводника 70 °С)

Высота × толщина шины, мм × мм	Поперечное сечение шины, мм^2	Одна шина на фазу					Две шины на фазу (зазор = толщина шины)				
		От 50 до 60 Гц постоянного тока			Постоянный и переменный ток до 16 2/3 Гц включительно		От 50 до 60 Гц постоянного тока			Постоянный и переменный ток до 16 2/3 Гц включительно	
		k_3	Рабочий ток, А	Потери мощности на каждый фазный провод P_v, Вт/м	Рабочий ток, А	Потери мощности на каждый фазный провод P_v, Вт/м	k_3	Рабочий ток, А	Потери мощности на каждый фазный провод P_v, Вт/м	Рабочий ток, А	Потери мощности на каждый фазный провод P_v, Вт/м
12 × 2	23,5	1,00	70	4,5	70	4,5	1,01	118	6,4	118	6,4
15 × 2	29,5	1,00	83	5,0	83	5,0	1,01	138	7,0	138	6,9
15 × 3	44,5	1,01	105	5,4	105	5,3	1,02	183	8,3	183	8,1
20 × 2	39,5	1,01	105	6,1	105	6,0	1,01	172	8,1	173	8,1
20 × 3	59,5	1,01	133	6,4	133	6,3	1,02	226	9,4	226	9,2
20 × 5	99,1	1,02	178	7,0	178	6,9	1,04	325	11,9	326	11,5
20 × 10	199	1,03	278	8,5	278	8,3	1,07	536	16,6	541	15,7
25 × 5	124	1,02	213	8,0	213	7,8	1,05	381	13,2	384	12,7
30 × 5	149	1,03	246	9,0	247	8,8	1,06	437	14,5	439	13,9
30 × 10	299	1,05	372	10,4	376	10,2	1,11	689	18,9	702	17,7
40 × 5	199	1,03	313	10,9	315	10,7	1,07	543	17,0	551	16,4
40 × 10	399	1,07	465	12,4	473	12,0	1,15	839	21,7	878	20,7
50 × 5	249	1,04	379	12,9	382	12,6	1,09	646	19,6	663	18,9
50 × 10	499	1,08	554	14,2	569	13,9	1,18	982	24,4	1047	23,5
60 × 5	299	1,05	447	15,0	452	14,7	1,10	748	22,0	774	21,4
60 × 10	599	1,10	640	16,1	663	15,7	1,21	1118	27,1	1216	26,4
80 × 5	399	1,07	575	19,0	585	18,5	1,13	943	27,0	995	26,6
80 × 10	799	1,13	806	19,7	852	19,4	1,27	1372	32,0	1547	32,1
100 × 5	499	1,10	702	23,3	722	22,4	1,17	1125	31,8	1177	29,7
100 × 10	999	1,17	969	23,5	1040	23,2	1,33	1612	37,1	1879	37,8
120 × 10	1200	1,21	1131	27,6	1229	27,0	1,41	1859	43,5	2204	43,4

Таблица Е.3 — Понижающий коэффициент k_1 для кабелей с допустимой рабочей температурой проводника 70 °С (согласно *[3]*, таблица B.52.14)

Температура воздуха внутри НКУ вокруг проводников, °С	Понижающий коэффициент k_1
20	1,12
25	1,06
30	1,00
35	0,94
40	0,87
45	0,79
50	0,71
55	0,61
60	0,50

$$P_v = \frac{I^2 \cdot k_3}{k \cdot A} \cdot \left[1 + \alpha \cdot (T_c - 20\ °C)\right], \qquad (E.4)$$

где P_v — потери мощности на метр, Вт;

I — рабочий ток, А;

k_3 — коэффициент смещения тока для 50/60 Гц (k_3 = 1 для постоянного тока и переменного тока 16 2/3 Гц);

k — проводимость меди: $k = 56 \frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$;

A — площадь поперечного сечения шины, мм^2;

α — температурный коэффициент сопротивления меди, α = 0,004 К$^{-1}$;

T_c — температура проводника, °*C*.

Рабочие токи могут быть преобразованы для других температур воздуха внутри НКУ и (или) для температуры проводника 90 °С посредством умножения значений, приведенных в таблице *Е.2* на соответствующий коэффициент k_4, определенный по таблице *Е.4*. Затем потери мощности должны быть рассчитаны по формуле (*Е.4*).

Таблица *Е.4* — Коэффициент k_4 для различных температур воздуха внутри НКУ и (или) для проводников

Температура воздуха внутри НКУ вокруг проводников, °С	Коэффициент k_4 при температуре проводника	
	70 °С	90 °С
30	1,82	2,26
35	1,69	2,14
40	1,54	2,03
45	1,35	1,91
50	1,18	1,77
55	1,00	1,62
60	0,77	1,48

Следует учитывать, что в зависимости от конструкции НКУ могут иметь место совершенно иные температуры окружающего воздуха и проводников, особенно при более высоких рабочих токах.

Проверку фактического превышения температуры в этих условиях определяют испытанием в соответствии с *ГОСТ IEC 61439-1*. Затем потери мощности могут быть рассчитаны способом, аналогичным использованному в случае таблицы *Е.2*.

Примечания

1 При более высоких токах могут быть значительными дополнительные потери на вихревые токи, которые не включены в значения, приведенные в таблице *Е.2*.

2 Для шин с другим поперечным сечением, конфигурацией и параметрами окружающей среды имеются соответствующие технические данные в национальных стандартах Германии: *[1]* — для алюминия, *[5]* — для меди и *[2]* — для алюминия с медным покрытием.

Приложение *F*
(рекомендуемое)

Примеры расчета превышения температуры воздуха внутри НКУ

F.1 Пример 1

Одиночное НКУ с открытыми боковыми поверхностями без вентиляционных отверстий и без внутренних горизонтальных перегородок (см. рисунок *F.1*).

Эффективные потери мощности *P* оборудования, установленного в НКУ, составляют 300 Вт.

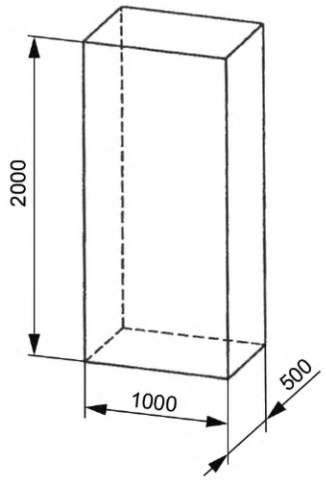


Рисунок *F.1* — Пример 1, расчет для НКУ с открытыми боковыми поверхностями без вентиляционных отверстий и без внутренних горизонтальных перегородок

Расчет (значения приведены в шаблоне на рисунке *F.2*, пример 1):

- площадью поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e определяют по 5.3.2.

Отдельные поверхности рассчитывают исходя из размеров НКУ, а коэффициент поверхности *b* определяют по таблице 6;

- превышение температуры воздуха $\Delta t_{0,5}$ определяют по 5.3.3.

Формула, приведенная в таблице 4 (графа 2):

$$\Delta t_{0,5} = k \cdot d \cdot P^x. \qquad (F.1)$$

Коэффициент *k* в соответствии с таблицей 4 (графа 7) при $A_e > 1{,}25$ м^2 и рисунком 5:

для $A_e = 6{,}64$ м^2 $k = 0{,}129$.

Коэффициент *d* в соответствии с таблицей 4 (графа 8) при $A_e > 1{,}25$ м^2 и таблицей 10:

при количестве горизонтальных перегородок, равном нулю: $d = 1{,}0$.

Эффективные потери мощности *P* составляют 300 Вт.

Экспонента *x*, определяемая по таблице 4 (графа 10) при $A_e > 1{,}25$ м^2: $x = 0{,}804$.

Подставив указанные значения в формулу (*F.1*), получаем следующий результат:

$$\Delta t_{0,5} = k \cdot d \cdot P^x = 0{,}129 \cdot 1{,}0 \cdot 300^{0{,}804},$$

$$\Delta t_{0,5} = 12{,}63 \text{ K} \approx 12{,}6 \text{ K};$$

- превышение температуры воздуха $\Delta t_{1,0}$ определяют согласно 5.3.4.

Формула, приведенная в таблице 4 (графа 3):

$$\Delta t_{1,0} = c \cdot \Delta t_{0,5}. \qquad (F.2)$$

Коэффициент с в соответствии с таблицей 4 (графа 9) при $A_e > 1{,}25$ м^2 и рисунком 1:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} = \frac{2{,}2^{1,35}}{1{,}05 \cdot 0{,}5} = 5{,}80.$$

Из рисунка 1 (кривая 1) следует: c = 1,44.

Подставив данное значение в формулу (*F.2*), получаем следующий результат:

$$\Delta t_{1,0} = c \cdot \Delta t_{0,5} = 1,44 \cdot 12,63 = 18,18 \text{ K} \approx 18,2 \text{ K};$$

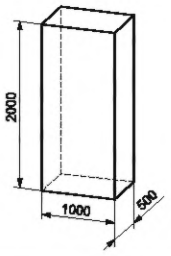
- определяют кривую характеристику превышения температуры для НКУ при A_e > 1,25 м^2 в соответствии с 5.3.5.2 (см. шаблон на рисунке *F.2*, пример 1);

- оценку конструкции выполняют в соответствии с разделом 7.

Необходимо проверить, способно ли оборудование, установленное в НКУ, удовлетворительно функционировать при указанных токах и расчетном изменении температуры с учетом температуры окружающего воздуха (см. примечание в *1.2*).

В противном случае требуется изменение параметров и повторное выполнение расчета.

Расчет превышения температуры воздуха внутри НКУ			
Заказчик/предприятие-изготовитель **Пример 1**			
Тип НКУ	**Одна секция**		
Соответствующие размеры для превышения температуры	Высота **2200**	мм	Тип установки: **Отдельно стоящий по всем сторонам**
	Ширина **1000**	мм	
	Глубина **5000**	мм	Количество горизонтальных перегородок: **0**

Площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла		Размеры	A_o	Коэффициент поверхности b в соответствии с таблицей 6	$A_o \cdot b$ (графа 3 × графа 4)
		м × м	$м^2$		$м^2$
		2	3	4	5
	Верхняя	**1,0 × 0,5**	**0,5**	**1,4**	**0,7**
	Фронтальная	**1,0 × 2,2**	**2,2**	**0,9**	**1,98**
	Тыльная	**1,0 × 2,2**	**2,2**	**0,9**	**1,98**
	Левая	**0,5 × 2,2**	**1,1**	**0,9**	**0,99**
	Правая	**0,5 × 2,2**	**1,1**	**0,9**	**0,99**
	$A_e = \Sigma(A_o \cdot b)$ = Итого				**6,64**

При площади поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e	
Превышает 1,25 $м^2$	Не превышает 1,25 $м^2$
$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$ (см. 5.3.4) $= \frac{2,2^{1,35}}{1 \cdot 0,5} =$	$g = \frac{h}{w}$ (см. 5.3.4) $= \frac{}{} =$

Отверстия для притока воздуха	$см^2$	**0**
Постоянная оболочки k		**0,129**
Коэффициент рассеивания тепла для горизонтальных перегородок d		**1**
Эффективные потери мощности P	Вт	**300**
$P^x = P\ldots$		**98,09**
$\Delta t_{0,5} = k \cdot d \cdot P^x$	K	**12,63 ≈ 12,6**
Коэффициент распределения температуры c		**1,44**
$\Delta t_{1,0} = c \cdot \Delta t_{0,5}$	K	**18,18 ≈ 18,2**



Рисунок *F.2* — Пример 1, расчет для одной секции

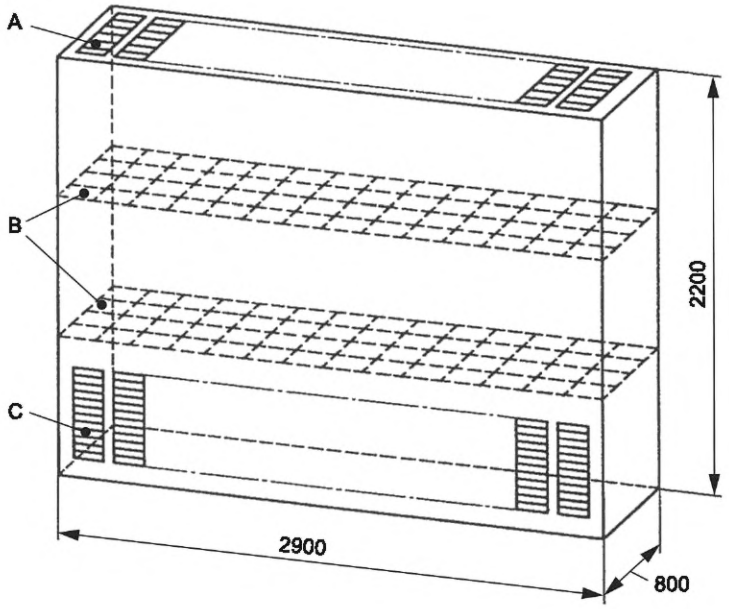
***F.2* Пример 2**

НКУ для настенного монтажа с вентиляционными отверстиями:

- поперечное сечение отверстий для притока воздуха составляет 1220 см^2;
- поперечное сечение отверстий для отведения воздуха составляет 1800 см^2

с двумя горизонтальными перегородками внутри НКУ. Каждая горизонтальная перегородка, например, перфорированная пластина, имеет вентиляционные отверстия, площадь поперечного сечения которых превышает 50 % от поперечного сечения НКУ (см. рисунки *F.3* и *F.4*).

Эффективные потери мощности *P* оборудования, установленного в НКУ, составляют 2200 Вт.

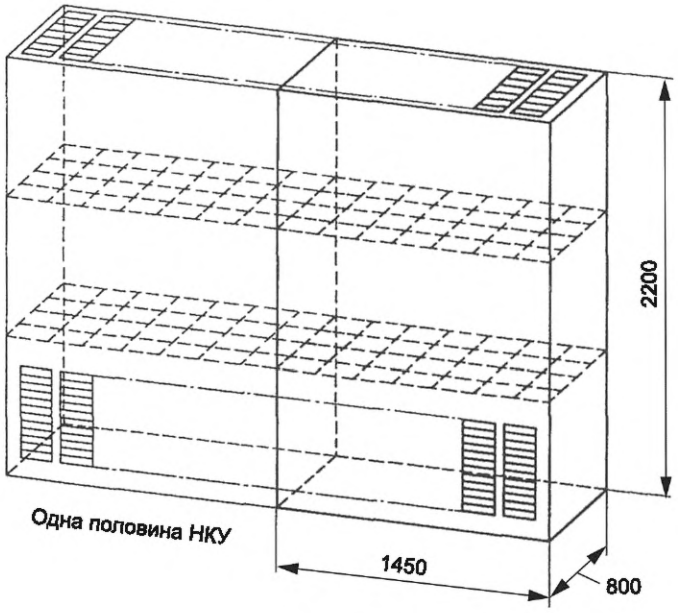


A — отверстия для отведения воздуха; B — горизонтальные перегородки с вентиляционными отверстиями, например, перфорированная пластина; C — отверстия для притока воздуха

Рисунок *F.3* — Пример 2, расчет для НКУ для настенного монтажа с вентиляционными отверстиями

Расчет (значения приведены в шаблоне на рисунке *F.5*, пример 2):

- учитывая, что площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла НКУ превышает 11,5 м^2, а ширина НКУ — 1,5 м, для точности расчета НКУ разделяют на условные секции (части НКУ) согласно 5.3.1. Для упрощения процедуры, поскольку структурные деления отсутствуют, НКУ в данном примере разделено на две равные секции (половины НКУ). Предполагается, что потери мощности и вентиляционные отверстия равномерно распределены в обеих частях (половинах), поэтому для расчета они делятся на два.



НКУ для настенного монтажа с отверстиями для притока воздуха:

1220 : 2 = 610 см^2

С отверстиями для отведения воздуха:

1800 : 2 = 900 см^2

С двумя горизонтальными перегородками, например перфорированными пластинами, эффективные потери мощности:

2200 : 2 = 1100 Вт

Рисунок *F.4* — Пример 2, расчет для одной половины НКУ

Расчет выполняется только для одной половины НКУ, результат применим к другой половине;

- необходимые сведения согласно 5.2 для одной половины НКУ;
- площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла каждой половины НКУ определяют в соответствии с 5.3.2.

Отдельные поверхности рассчитывают исходя из размеров НКУ, а коэффициент поверхности *b* определяют по таблице 6.

Разделительную поверхность между двумя половинами НКУ, полученную в результате условного деления пополам, не учитывают в соответствии с таблицей 6;

- превышение температуры воздуха $\Delta t_{0,5}$ определяют по 5.3.3.

Формула, приведенная в таблице 4 (графа 2):

$$\Delta t_{0,5} = k \cdot d \cdot P^x. \qquad (F.3)$$

Коэффициент *k определяют* в соответствии с таблицей 4 (графа 7) при A_e > 1,25 м^2 и рисунком 6.

Для воздухозаборных отверстий площадью 610 см^2 и при A_e = 7,674 м^2: k = 0,0713.

Коэффициент *d* в соответствии с таблицей 4 (графа 8) при A_e > 1,25 м^2 и таблицей 11 для двух горизонтальных перегородок: d = 1,10.

Эффективные потери мощности *P* составляют 1100 Вт.

Экспонента *x*, определяемая по таблице 4 (графа 10) при A_e > 1,25 м^2: x = 0,715.

Подставив указанные значения в формулу (*F.3*), получаем следующий результат:

$$\Delta t_{0,5} = k \cdot d \cdot P^x = 0{,}071 \cdot 1{,}10 \cdot 1100^{0{,}715},$$

$$\Delta t_{0,5} = 11{,}72 \text{ К} \approx 11{,}7 \text{ К};$$

- превышение температуры воздуха $\Delta t_{1,0}$ определяют согласно 5.3.4.

Формула, приведенная в таблице 4 (графа 3):

$$\Delta t_{1,0} = c \cdot \Delta t_{0,5}. \qquad (F.4)$$

Коэффициент *c* в соответствии с таблицей 4 (графа 9) при A_e > 1,25 м^2 и рисунком 2:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} = \frac{2{,}2^{1,35}}{1{,}45 \cdot 0{,}8} = 2{,}50.$$

Из рисунка 2 следует, что для отверстий для притока воздуха площадью 610 см^2: c = 1,88.

Подставив данные значения в формулу *(F.4)*, получаем следующий результат:

$$\Delta t_{1,0} = c \cdot \Delta t_{0,5} = 1{,}87 \cdot 11{,}67 = 22{,}03\ \text{K} \approx 22\ \text{K};$$

- определяют характеристическую кривую превышения температуры для НКУ при $A_e > 1{,}25$ м^2 в соответствии с 5.3.5.2 (см. шаблон на рисунке *F.5*, пример 2);

- оценку конструкции выполняют в соответствии с разделом 7.

Необходимо проверить, способно ли оборудование, установленное в НКУ, нормально функционировать при указанных токах и расчетном изменении температуры с учетом температуры окружающего воздуха (см. примечание в *1.2*).

В противном случае требуется изменение параметров и повторное выполнение расчета.

Расчет превышения температуры воздуха внутри НКУ			
Заказчик/предприятие-изготовитель **Пример 2**			
Тип НКУ **Высота 2200, ширина 2900, глубина 800; разделена на 2 половины**			
Соответствующие размеры для превышения температуры	Высота **2200**	мм	Тип установки: **Подвес на стену**
	Ширина **1450**	мм	Вентиляционные отверстия: **да/~~нет~~**
	Глубина **800**	мм	Количество горизонтальных перегородок: **0**

Площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла		Размеры	A_o	Коэффициент поверхности b в соответствии с таблицей 6	$A_o \cdot b$ (графа 3 × графа 4)
		м × м	м^2		м^2
		2	3	4	5
	Верхняя	**1,45 × 0,8**	**1,16**	**1,4**	**1,624**
	Фронтальная	**1,45 × 2,2**	**3,19**	**0,9**	**2,871**
	Тыльная	**1,45 × 2,2**	**3,19**	**0,5**	**1,595**
	Левая	**0,8 × 2,2**	**1,76**	**0,0**	**—**
	Правая	**0,8 × 2,2**	**1,76**	**0,9**	**1,584**
	$A_e = \Sigma(A_o \cdot b)$ = Итого				**7,674**

При площади поверхности с эффективным рассеиванием тепла A_e	
Превышает 1,25 м^2	Не превышает 1,25 м^2
$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$ (см. 5.3.4) $= \frac{2,2^{1,35}}{1,45 \cdot 0,8} = 2,5$	$g = \frac{h}{w}$ (см. 5.3.4) = ——————— =

Отверстия для притока воздуха	см^2	**610**
Постоянная оболочки k		**0,0713**
Коэффициент рассеивания тепла для горизонтальных перегородок d		**1,1**
Эффективные потери мощности P	Вт	**2200/2 = 1100**
$P^x = P\ldots$		**149,48**
$\Delta t_{0,5} = k \cdot d \cdot P^x$	K	**11,72 ≈ 11,7**
Коэффициент распределения температуры c		**1,88**
$\Delta t_{1,0} = c \cdot \Delta t_{0,5}$	K	**22,03 ≈ 22**

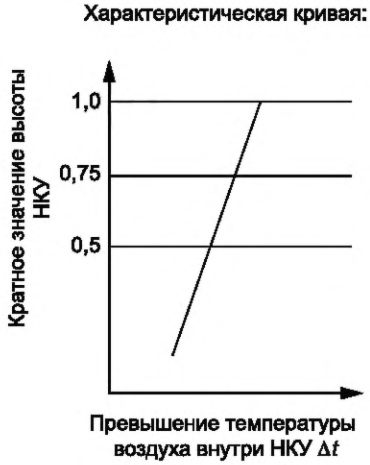


Рисунок *F.5 — Пример 2, расчет для НКУ для настенного монтажа* с вентиляционными отверстиями

Приложение *G*
(рекомендуемое)

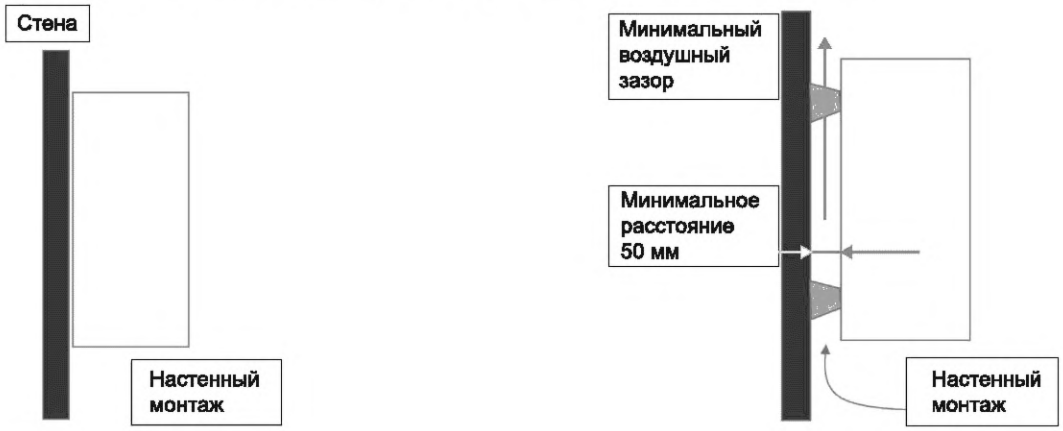
Указания по учету влияния прилегающей стены на поверхности с эффективным рассеиванием тепла низковольтных комплектных устройств распределения и управления

Настенный и напольный варианты установки НКУ на стене или рядом со стеной уменьшают площадь активной поверхности теплообмена между НКУ и окружающим воздухом. В случае настенной установки для обеспечения достаточной конвекции воздуха между стеной и НКУ необходимо предусмотреть воздушный зазор не менее 50 мм (см. рисунок *G.1*). Температурные режимы в окружающем воздухе и для данного случая считают одинаковыми (см. 5.3.2 о влиянии этого фактора установки).

Примечания

1 Изготовители НКУ или оболочек могут предоставить различные значения минимального размера воздушного зазора применительно к испытаниям, проведенным для проверки влияния размещения.

2 Изготовитель в технической документации определяет любые ограничения значений зазоров между верхней частью НКУ и потолком помещения и (или) воздушных зазоров по сторонам НКУ.



a) Вариант 1: без воздушного зазора

b) Вариант 2: минимальный воздушный зазор для свободной конвекции воздуха

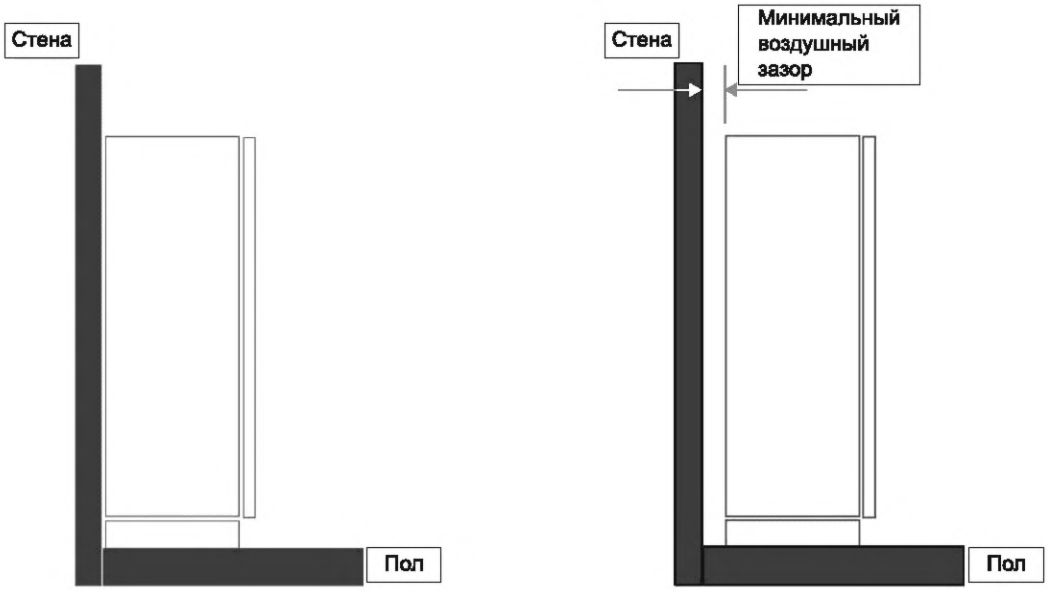
Рисунок *G.1* — НКУ настенной установки

В случае НКУ напольной установки шириной до 2 м включительно необходимо учитывать воздушный зазор свыше 50 мм между стеной и НКУ (см. рисунок *G.2*). Температурные режимы в окружающем воздухе и для данного случая считают одинаковыми (см. 5.3.2 о влиянии этого фактора установки).

НКУ шириной более 2 м следует считать расположенными:

- задней стенкой к стене;
- на расстоянии, достаточном для конвекции, например, не менее 200 мм;
- на расстоянии между НКУ и стеной, достаточном для того, чтобы НКУ считалось установленным условно не у стены исходя из испытаний.

Изготовитель приводит вышеуказанные сведения в технической документации на НКУ.



a) Вариант 1: без воздушного зазора

b) Вариант 2: минимальный воздушный зазор для свободной конвекции воздуха

Рисунок *G.2* — НКУ напольной установки

Приложение *Н*
(рекомендуемое)

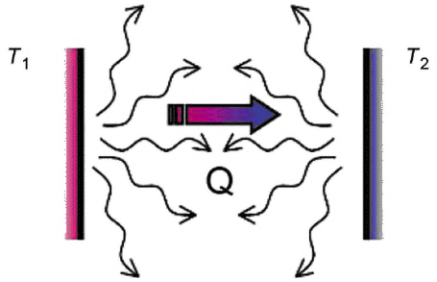
Указания по учету дополнительного эффекта превышения температуры вследствие воздействия солнечного излучения

Н.1 Общие положения

При наружной установке НКУ, если оно не установлено в тени или, в частности, под навесом или крышей, внутри НКУ будет происходить дополнительное превышение температуры под воздействием солнечного излучения. В настоящем приложении приведены пояснения тепловых эффектов, вызванных солнечным излучением, и их последствий для расчета температуры воздуха внутри НКУ.

Н.2 Явление солнечного излучения

Излучение представляет собой *процесс* передачи энергии между двумя объектами, разделенными атмосферой (см. рисунок *Н.1*). Вещества обладают способностью поглощать или испускать фотоны. Процесс передачи *энергии* происходит мгновенно. На стороне поглощения часть излучаемой энергии, как правило, преобразуется в тепло.



T_1 — температура солнечного излучения; T_2 — температура поверхности оболочки НКУ; Q — энергия, передаваемая от поверхностей с наиболее высокой температурой к поверхностям с наиболее низкой температурой

Рисунок *Н.1* — Явление солнечного излучения

НКУ наружной установки является приемником солнечного излучения. Тип материала поверхности НКУ, ее шероховатость и цвет могут влиять на коэффициент поглощения излучаемой энергии и, следовательно, на температуру внутри НКУ.

Внешний цвет и материалы оказывают значительное влияние на поглощение солнечного излучения, выражаемое коэффициентом поглощения. Для НКУ с оболочкой черного или темного цвета значение коэффициента поглощения может достигать значений, близких к 1, и приводить к максимальному дополнительному превышению температуры по сравнению с НКУ аналогичной конструкции белого цвета, значения коэффициента которого близки к 0,1. В таблице *Н.1* приведены различные в зависимости от цвета значения коэффициента поглощения, действительные для солнечного излучения, за исключением инфракрасного.

Таблица *Н.1* — Средние значения коэффициентов поглощения солнечного излучения (в зависимости от цвета) (согласно [*6*])

Цвет	Коэффициенты поглощения солнечного излучения (средние значения)	Расчет дополнительного превышения температуры воздуха внутри НКУ, К
Белый	0,14	10,0
Кремовый	0,25	12,0
Желтый	0,30	12,9
Светло-серый, синий, зеленый	0,50	16,5
Серый, синий, зеленый	0,75	21,0
Темно-серый, синий, зеленый	0,95	24,4
Черный	0,97	25,0

Для определения влияния разницы между светлыми и темными цветами допускается использовать метод интерполяции (см. рисунок *Н.2*).

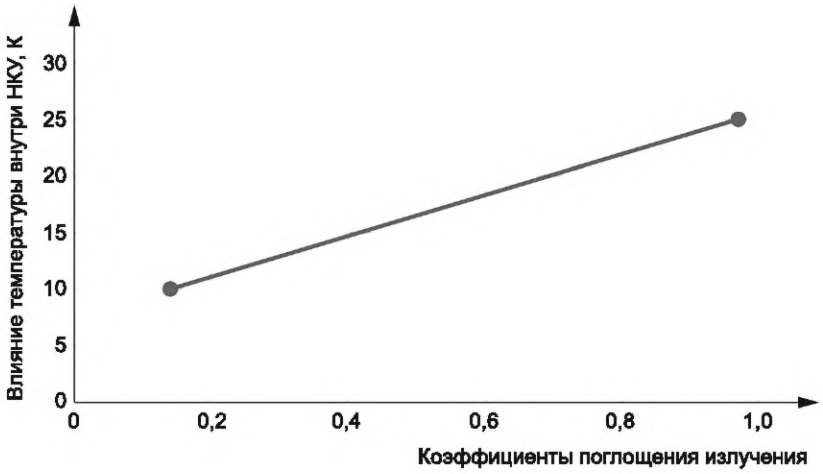


Рисунок *Н.2* — Интерполяционная кривая

Примечание — Изготовителю необходимо учитывать старение поверхностей под воздействием УФ-излучения при определении коэффициента поглощения.

Н.3 Последствия воздействия солнечного излучения для теплового расчета

Вследствие поглощения энергии оболочкой НКУ повышается температура воздуха внутри НКУ в дополнение к превышению температуры, вызванному внутренними потерями мощности. На основании сравнения испытаний НКУ, изготовленных из металла с вентиляционными отверстиями, и подхода, изложенного в *[6]*, следует учитывать дополнительное превышение температуры на 10 K, если цвет НКУ светлый или белый. В случае серого или темного цвета это превышение может достигать 25 K.

В целях снижения или исключения влияния солнечного излучения на превышение температуры внутри НКУ, изготовители, как правило, предлагают специальные решения в виде особой конструкции крыши или навеса. Для предотвращения попадания прямых солнечных лучей на НКУ с утра до середины дня навес или конструкция крыши должны быть достаточно большими.

Примечания

1 Рекомендации и пояснения заимствованы из документа *[6]*.

2 Для особых условий установки, например, в случае НКУ, установленного внутри помещения в месте, подверженном воздействию солнечного света или источников теплового излучения, требуется дополнительное согласование между потребителем и изготовителем. Такие факторы воздействия учитывают при помощи применения понижающего коэффициента, полученного в результате измерений на месте испытаний.

Н.4 Влияние солнечного излучения на НКУ с вентиляционными отверстиями

Влияние солнечного излучения на превышение температуры внутри НКУ с вентиляционными отверстиями может быть ниже, чем внутри НКУ без отверстий. Расчет изменения температуры воздуха внутри НКУ, определенный по таблице *Н.1*, не применим к НКУ с вентиляционными отверстиями, ответственность за предоставление достоверных данных возложена на изготовителя НКУ.

Приложение *I*
(рекомендуемое)

Указания по применению принудительной вентиляции

I.1 Общие положения

Рассматриваемый тип терморегулирования обеспечивает более высокую производительность воздухообмена по сравнению с естественной конвекцией. Применение принудительной вентиляции требует технического обслуживания для обеспечения стабильной работы в течение всего срока службы НКУ. Подробные сведения о техническом обслуживании должны содержаться в технической документации, предоставляемой изготовителем НКУ.

I.2 Система установки принудительной вентиляции

Наиболее распространенным методом терморегулирования является использование вентилятора. Для выбора вентилятора необходимо учитывать основные технические характеристики, указываемые в каталоге или технических руководствах изготовителя системы терморегулирования. Производительность вентилятора, как правило, указывают при работе с свободным потоком воздуха и при работе через преграду, например, решетку или дополнительный фильтр. Для выбора вентилятора следует применять второе, меньшее по величине, значение.

Следует обратить внимание на характеристики вентилятора, приведенные для разных значений напряжения и частоты, например, 50 и 60 Гц, поскольку расход воздуха одного и того же вентилятора при различной частоте имеет различия.

Как правило, системы с дополнительной системой мониторинга для предотвращения риска перегрева в случае выхода из строя принудительной вентиляции, например, по причине отсутствия технического обслуживания фильтра.

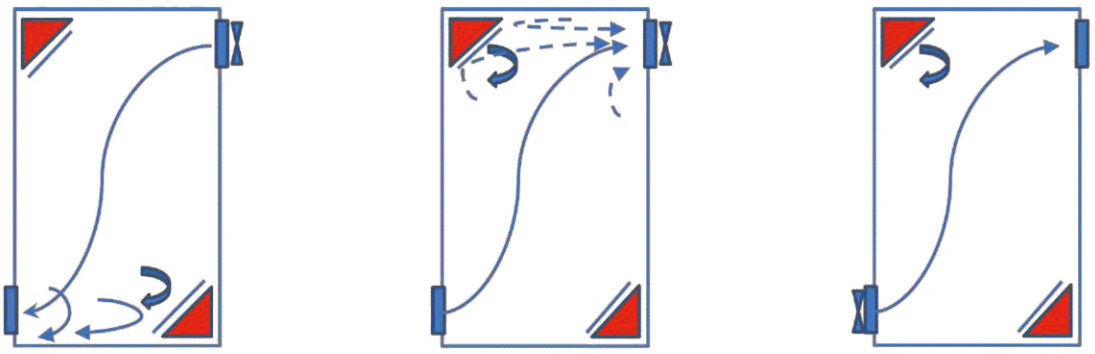
В настоящем стандарте отсутствуют конкретные правила по установке в НКУ принудительной вентиляции. В приложении К приведены общие указания по определению минимального воздушного потока, при этом изготовителю НКУ рекомендуется воспользоваться указаниями изготовителя оборудования для вентиляции.

I.3 Рекомендации по установке

При применении принудительной вентиляции разработчику НКУ необходимо учитывать «серые зоны», принудительное охлаждение в которых негативно влияет на воздушный поток. В связи с этим следует избегать установки в этих зонах устройств, чувствительных к температуре [см. рисунок *I.1a*)].

Место установки и направление воздушного потока, например, приток воздуха в НКУ или его отведение из НКУ, могут привести к различным результатам. В случае установки вентилятора в верхней части НКУ для отведения воздуха наружу [см. рисунок *I.1b*)] по причине, неполной герметичности НКУ, зазоры или небольшие отверстия могут изменить циркуляцию воздушного потока, что приводит к снижению охлаждения отдельных областей НКУ [см. рисунок *I.1b*)].

Другим следствием этого эффекта является проникновение загрязненного (нефильтрованного) воздуха через данные зазоры в НКУ. Исходя из вышеперечисленного, предпочтительным решением, как правило, является конструкция с притоком воздушного потока, при котором вентилятор располагают в нижней части НКУ [см. рисунок *I.1c*)].



a) Вентилятор, установленный в верхней части НКУ (1); b) Вентилятор, установленный в верхней части НКУ (2); c) Вентилятор, установленный в нижней части НКУ

Красная зона — «серая» зона; сплошная стрелка — циркуляция воздуха; пунктирная стрелка — зазоры, отверстия для дополнительного поступления воздуха; широкая стрелка — рециркуляция воздуха

Рисунок *I.1* — Примеры схем принудительной вентиляции

Приложение J
(рекомендуемое)

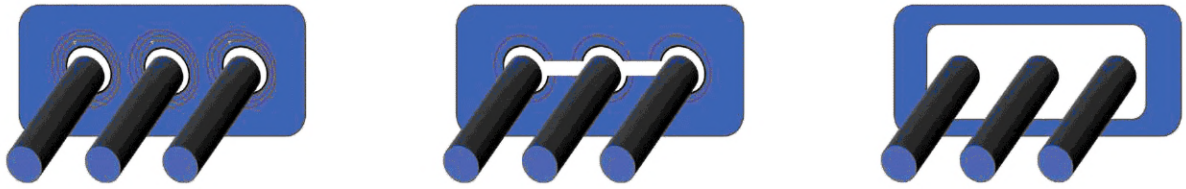
Указания по учету потерь мощности от магнитных и вихревых токов

Если проводники в цепях переменного тока с номинальным значением тока свыше 200 А проложены через ферромагнитные части оболочки, разделителя или перекрытия, то для снижения влияния магнитных вихревых токов и гистерезисных потерь проводники должны соответствовать следующим критериям:

- прокладка должна быть выполнена таким образом, чтобы ферромагнитный материал охватывал исключительно всю группу проводников, например, проводники могут проходить через одно и то же отверстие;
- НКУ, в которых проводники проложены через отдельные отверстия, должны быть подвергнуты испытаниям на превышение температуры.

Защитный проводник допускается проводить через отдельный вход в стальной оболочке. Проводники, проводящие токи свыше 200 А, монтируют рядом с конструктивными элементами с учетом обеспечения снижения потерь на вихревые токи и гистерезис.

При увеличении номинала проводника применяют конструкцию с учетом особенностей, указанных выше, например панели кабельного ввода (см. рисунок J.1). В качестве альтернативы можно заменить на немагнитный материал.



a) Для токов до 200 А включительно *b) Для токов от 200 до 630 А* *c) Для токов свыше 630 А*

Рисунок J.1 — Распределение потерь мощности для различных сальниковых панелей с одинаковым номиналом

На рисунке J.1a) *применяют* конструкцию для токов до 200 А включительно. Для токов до *630 А* применяют конструкцию, приведенную на рисунке J.1b). При более высоких токах и, следовательно, более значительных магнитных воздействиях применяют конструкцию, приведенную на рисунке J.1c). При более высоких токах необходимо обеспечить достаточные расстояния между проводниками и магнитными частями НКУ, например, стальной рамой, во избежание чрезмерного нагрева магнитных частей.

Приложение К
(рекомендуемое)

Расчет расхода воздуха при принудительной вентиляции

К.1 Общие положения

Упрощенный метод расчета для принудительной вентиляции приведен в *ГОСТ IEC 61439-2*. В приведенном ниже методе применен более фундаментальный подход.

В настоящем приложении приведены более подробные сведения о методах расчета для определения минимального расхода воздуха, необходимого для принудительной вентиляции НКУ с учетом естественного рассеивания энергии, с использованием метода расчета по настоящему стандарту (без естественной вентиляции). См. также приложение *I*.

Рассеиваемую мощность НКУ определяют по формуле

$$P_w = \underbrace{\rho \cdot \dot{V} \cdot c_p \cdot \left(T_{внутр} - T_{окр}\right)}_{A} + \underbrace{\alpha \cdot A_s \cdot \left(T_{внутр} - T_{окр}\right)}_{B}, \quad (К.1)$$

где P_w — общая рассеиваемая мощность, Вт;

ρ — массовая плотность (воздуха) при $T_{окр}$, кг/м^3;

$\dot{V}$ — объемный расход воздуха, проходящего через НКУ, м^3/с;

c_p — теплоемкость (воздуха), Дж/кг · К;

$T_{внутр}$ — температура внутри НКУ, °С;

$T_{окр}$ — температура окружающей среды, °С;

α — коэффициент теплопередачи (объединяет понятия теплопроводности и излучения тепла), Вт/м^2 · К;

A_s — площадь поверхности, которая может проводить тепло (как правило, без учета площади дна), м^2.

Первая часть А формулы (К.1) определяет количество тепла, которое рассеивается из НКУ. Рассеивание тепла может быть естественным, т. е. образованным за счет перепада давления, который создается исключительно по причине превышения температуры, или принудительно.

Для НКУ без вентиляционных отверстий и со степенью защиты IP не ниже IP4X по *ГОСТ 14254* рассеивание тепла за счет эффекта теплоотдачи могут быть близкими к нулю. При отсутствии конструктивных зазоров или отверстий добавление вентиляционных решеток позволяет создать естественный поток воздуха, который имеет большое значение для расчета превышения температуры.

Добавление более одного вентилятора и вентиляционных решеток, совместимых с воздушным потоком вентилятора(ов), позволяет значительно увеличить скорость воздушного потока, что дает возможность изготовителям проектировать НКУ со значительно более высокими потерями мощности аппаратурой и токоведущими элементами.

Вторая часть В формулы (К.1) определяет теплопроводность и рассеивание тепла, которые зависят от различных параметров (например, формы НКУ, материала, цвета, характеристики поверхности, т. е. шероховатости). Таким образом, определить коэффициент теплопередачи α без измерений достаточно сложно. В соответствии с расчетным методом по настоящему стандарту часть В формулы (К.1) заменяют алгоритмом, основанным на коэффициентах, определенных эмпирическим путем. Кроме того, для представления части А формулы (К.1) применяют подход, учитывающий естественную вентиляцию.

После расчета рассеиваемой мощности НКУ по методике настоящего стандарта определяют количественный объем воздушного потока по формуле

$$P_{вент} = \rho \cdot \dot{V} \cdot c_p \cdot (T_{внутр\ max} - T_{окр}) = P - P_{890}\,(A_e, T_{внутр\ max} - T_{окр}), \quad (К.2)$$

где $P_{вент}$ — потери мощности, рассеиваемые при принудительной вентиляции, *Вт*;

$T_{внутр\ max}$ — максимально допустимая температура внутри НКУ, °С (ограниченная, например, устройствами);

P — суммарные потери мощности оборудования, установленного внутри НКУ, *Вт* (см. приложение *D*);

P_{890} — расчетная рассеиваемая мощность НКУ и согласно настоящему стандарту, без учета естественной вентиляции, *Вт*;

A_e — эффективная площадь поверхности, *м*^{2}.

К.2 Расчет расхода воздуха при вентиляции

Поскольку объемным расходом воздуха при естественной вентиляции можно пренебречь по сравнению с принудительной вентиляцией, расчет минимального объема расхода воздуха, создаваемого системой вентиляции, требует преобразования формулы (К.2) в следующий вид:

$$V_{min} = \frac{P - P_{890}\left(A_в, T_{внутр\ max} - T_{окр}\right)}{\rho \cdot c_p \cdot \left(T_{внутр\ max} - T_{окр}\right)}. \quad (К.3)$$

Поскольку массовая плотность и удельная теплоемкость воздуха не являются постоянными, получить точные значения при соответствующих условиях окружающей среды достаточно сложно. Таким образом, для расчета допустимо аппроксимировать выражение $\rho \cdot c_p$ с учетом понижающего коэффициента k для высоты над уровнем моря:

$$\rho \cdot c_p = k \cdot 1{,}1335 \frac{кг}{м^3} \cdot 1{,}024 \frac{кДж}{кг \cdot К} \approx k \cdot 1160 \frac{Дж}{м^3 \cdot К}.$$

Примечание — Данное значение рассчитано при температуре окружающей среды 35 °С и относительной влажности 50 %.

Далее сокращаем формулу для расчета минимального объемного расхода:

$$\dot{V}_{min} = \frac{P - P_{890}}{1160 \cdot k \cdot \left(T_{внутр\ max} - T_{окр}\right)}.$$

Значения коэффициента k приведены в таблице К.1.

Таблица К.1 — Значения коэффициента *k и соответствующие значения* высоты над уровнем моря

Высота, м	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
k	1,00	0,95	0,89	0,84	0,80	0,75	0,71

В отношении внутренней температуры $T_{внутр\ max}$ следует учитывать наивысшее значение температуры, допустимое внутри НКУ, ограниченное максимальной рабочей температурой встроенной аппаратуры.

Для повышения точности выбора вентиляционной и фильтрационной системы необходимо сравнить рассчитанный объемный расход воздуха с соответствующим расходом воздуха, указанным в технических характеристиках вентиляторов, с учетом решеток или фильтров (см. приложение *I*). В зависимости от аппаратуры, находящейся внутри НКУ, воздушный поток может быть дополнительно ограничен (замедлен).

Рассчитанный поток воздуха обеспечивает эффективное охлаждение, если общий ток питания не превышает 1600 А, а также при выполнении следующих условий:

a) отсутствии в НКУ или секции НКУ горизонтальной перегородки, ограничивающей поток воздуха, что не исключает установку воздухоотклоняющих пластин с целью управления потоком охлаждающего воздуха;

b) исполнении инструкций по установке и эксплуатации изготовителя климатического оборудования.

Примечание — Если вышеперечисленные условия не выполняются, целесообразно выполнить сравнение с испытанной конструкцией с увеличением воздушного потока.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном документе

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ IEC 61439-1—2013	IDT	IEC 61439-1:2011 «Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Общие требования»
ГОСТ IEC 61439-2—2015	IDT	IEC 61439-2:2011 «Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 2. Силовые комплектные устройства распределения и управления»
ГОСТ IEC 61439-3—2015	IDT	IEC 61439-3:2012 «Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 3. Распределительные щиты, предназначенные для управления неквалифицированными лицами»
ГОСТ IEC 61439-4—2015	IDT	IEC 61439-4:2012 «Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 4. Частные требования к комплектным устройствам, используемым на строительных площадках»
ГОСТ IEC 61439-5—2017	IDT	IEC 61439-5:2014 «Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 5. Комплектные устройства для силового распределения в сетях общественного пользования»
ГОСТ IEC 61439-6—2017	IDT	IEC 61439-6:2012 «Низковольтные комплектные устройства распределения и управления. Часть 6. Системы сборных шин (шинопроводы)»
ГОСТ IEC 61439-7—2021	IDT	IEC 61439-7:2018 «Устройства распределения и управления комплектные низковольтные. Часть 7. Комплектные устройства специального применения, например, на стоянках для яхт, кемпингах, рыночных площадях, станциях зарядки электрических транспортных средств»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - IDT — идентичные стандарты.		

Приложение ДБ
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного международного документа

Таблица ДБ.1

Структура настоящего стандарта	Структура международного документа IEC TR 60890:2022
1 Область применения	1 Область применения
2 Нормативные ссылки	2 Нормативные ссылки
3 Термины и определения	3 Термины и определения
4 Условия проверки	4 Условия проверки
5 Расчетный метод	5 Метод расчета
6 Дополнительные аспекты	6 Дополнительные соображения
7 Оценка конструкции	7 Оценка конструкции
*	Таблицы
*	Рисунки
Приложение A Указания по учету влияния различных материалов, конструкции и защитных покрытий НКУ (приложение D)	Приложение A Примеры расчета превышения температуры воздуха внутри НКУ
Приложение B Указания по учету влияния различных схем естественной вентиляции (приложение E)	Приложение B Руководство по последствиям неравномерного распределения мощности
Приложение C Указания по учету влияния неравномерного распределения мощности (приложение B)	Приложение C Руководство по дополнительному эффекту превышения температуры из-за солнечного излучения
Приложение D Расчет значений потерь мощности (приложение G)	Приложение D Руководство по влиянию различных материалов, конструкции и отделки НКУ
Приложение E Рабочий ток и потери мощности в медных проводниках (приложение I)	Приложение E Руководство по влиянию различных схем естественной вентиляции
Приложение F Примеры расчета превышения температуры воздуха внутри НКУ (приложение A)	Приложение F Руководство по управлению принудительной вентиляцией
Приложение G Указания по учету влияния прилегающей стены на поверхности с эффективным рассеиванием тепла низковольтных комплектных устройств распределения и управления (приложение H)	Приложение G Расчет значений потерь мощности
Приложение H Указания по учету дополнительного эффекта превышения температуры вследствие воздействия солнечного излучения (приложение C)	Приложение H Руководство по влиянию прилегающей стены на поверхности с эффективным рассеиванием тепла низковольтных комплектных устройств распределения и управления
Приложение I Указания по управлению принудительной вентиляцией (приложение F)	Приложение I Рабочий ток и потери мощности медных проводников
Приложение J Указания по учету потерь мощности от магнитных и вихревых токов	Приложение J Руководство по учету потерь мощности от магнитных и вихревых токов
Приложение K Расчет расхода воздуха при принудительной вентиляции	Приложение K Расчет расхода воздуха при принудительной вентиляции

Окончание таблицы ДБ.1

Структура настоящего стандарта	Структура международного документа IEC TR 60890:2022
Приложение ДА Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном документе	Библиография
Приложение ДБ Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного международного документа	
Библиография	

* Таблицы и рисунки размещены непосредственно после текста, в котором они упоминаются, или на следующей странице.

Примечание — После заголовков приложений настоящего стандарта приведены в скобках обозначения аналогичных им приложений международного документа.

Библиография

[*1*]	DIN 43670[1)]—1975	Aluminium bus bars; design for continuous current (Шины алюминиевые. Конструкция для токов длительной нагрузки)
[*2*]	DIN 43670-2[1)]—1985	Aluminium bus bars copper cladding; design for continuous current (Шины алюминиевые с медной оболочкой. Конструкция для токов длительной нагрузки)
[*3*]	IEC 60364-5-52:2009	Low-voltage electrical installations — Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment — Wiring systems (Электрические установки зданий. Часть 5-52. Выбор и установка электрооборудования. Системы проводки)
[*4*]	IEC 60228:2023	Conductors of insulated cables (Жилы токопроводящие изолированных кабелей)
[*5*]	DIN 43671[1)]—1975	Copper bus bars; design for continuous current (Шины медные. Конструкция для токов длительной нагрузки)
[*6*]	IEEE STD C37.24-2017	IEEE Guide for Evaluating the Effect of Solar Radiation on Outdoor Metal-Enclosed Switchgear (Руководство IEEE по оценке воздействия солнечной радиации на наружные распределительные устройства с металлическим корпусом)

[1)] Текст данного стандарта доступен только на немецком языке.

УДК 621.316.923:006.354 МКС 29.130.20 MOD

Ключевые слова: низковольтные комплектные устройства распределения и управления, оболочка, проверка превышения температуры, расчетный метод

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 07.11.2024. Подписано в печать 22.11.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 6,05. Уч-изд. л. 5,14.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru