МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

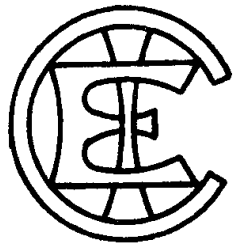
СТАНДАРТ МЭК

ПУБЛИКАЦИЯ 905

Издание первое

1987

РУКОВОДСТВО ПО НАГРУЗКЕ СИЛОВЫХ СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ



1990

gost.e-ecolog.ru

МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

СТАНДАРТ МЭК

ПУБЛИКАЦИЯ 905

Издание первое

1987

РУКОВОДСТВО ПО НАГРУЗКЕ СИЛОВЫХ СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1990

Советскому комитету МЭК предоставлено право издавать стандарты МЭК на русском языке.

Стандарты МЭК подготавливаются специализированными техническими комитетами, рассматриваются всеми странами—членами МЭК и, являясь выражением международного опыта в соответствующей области электротехники, отражают согласованную международную точку зрения.

Имеется в виду, что страны — члены МЭК должны стремиться к согласованию национальных стандартов со стандартами МЭК в максимальной степени, которая допускается условиями каждой страны.

Издание стандартов МЭК на русском языке преследует цель ознакомления с ними всех заинтересованных организаций, широких кругов советских специалистов и инженерно-технической общественности и использования их требований при разработке отечественных нормативно-технических документов (НТД) или применения их непосредственно в качестве отечественных НТД.

ПЕРЕСМОТР НАСТОЯЩЕГО СТАНДАРТА

Стандарты МЭК постоянно пересматриваются Международной электротехнической комиссией, что позволяет отражать современное состояние техники.

Информацию о пересмотре, издании пересмотренных стандартов МЭК и изменениях к ним можно получить в национальных комитетах МЭК и из следующих источников:

бюллетеня МЭК (издается ежеквартально);

отчета о деятельности МЭК (издается ежегодно);

каталога публикаций МЭК (издается ежегодно).

ТЕРМИНЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В НАСТОЯЩЕМ СТАНДАРТЕ

Общетехнические термины приведены в Публикации МЭК 50 «Международный электротехнический словарь» (МЭС), издаваемой в виде отдельных глав, каждая из которых относится к определенной области электротехники. Общий алфавитный указатель издан отдельной книгой. Подробную информацию о МЭС можно получить по специальному запросу.

Термины и определения, используемые в настоящем стандарте, либо взяты из МЭС, либо установлены настоящим стандартом.

ГРАФИЧЕСКИЕ И БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Общие графические, буквенные обозначения и другие символы, принятые МЭК, содержатся в следующих Публикациях МЭК:

27 «Буквенные обозначения, применяемые в электротехнике»;

617 «Графические обозначения для схем».

Символы и обозначения, используемые в настоящем стандарте, взяты из Публикаций МЭК 27 или МЭК 617, либо специально одобрены для применения в настоящем стандарте.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие

Введение

1. Область распространения
2. Назначение
3. Условные обозначения

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

4. Основа руководства
5. Базовый алгоритм расчета «сокращения срока службы»
6. Ограничения

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

7. Основа для построения графиков нагрузки
8. Выбор соответствующего графика нагрузки, примеры

МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

РУКОВОДСТВО ПО НАГРУЗКЕ СИЛОВЫХ СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Официальные решения или соглашения МЭК по техническим вопросам, изготовленные техническими комитетами, в которых представлены все заинтересованные национальные комитеты, выражают с максимальной точностью международную согласованную точку зрения по рассматриваемым вопросам.

2. Эти решения в виде международных стандартов принимают все национальные комитеты.

3. В целях содействия международной унификации МЭК выражает пожелание, чтобы все национальные комитеты приняли настоящий стандарт МЭК за основу при разработке своих национальных стандартов, насколько это позволяют условия каждой страны. Любое расхождение со стандартами МЭК должно быть четко указано в соответствующих национальных стандартах.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий стандарт разработан Техническим комитетом МЭК 14 «Силовые трансформаторы».

Текст настоящего стандарта подготовлен по следующим документам:

Правило шести месяцев	Отчет о голосовании
14 (Центральное бюро) 60	14 (Центральное бюро) 63

Более подробная информация о голосовании, результатом которого явилось утверждение настоящего руководства, содержится в отчете о голосовании, 14 (Центральное бюро) 63.

В настоящем стандарте приведены ссылки на следующие Публикации МЭК:

76—1 (1976) «Силовые трансформаторы. Часть 1. Общие положения»;

726 (1982) «Силовые сухие трансформаторы».

РУКОВОДСТВО ПО НАГРУЗКЕ СИЛОВЫХ СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1. Область распространения

Настоящее руководство распространяется на сухие трансформаторы с естественным воздушным охлаждением, соответствующие Публикации МЭК 726, условия работы которых ограничены требованиями, приведенными в п. 6. Рассматривается шесть различных изоляционных систем соответственно их предельной температуре.

Рекомендации по режимам нагрузки из-за наличия многочисленных сочетаний различных систем изоляции и конструктивных исполнений могут быть только общего порядка. Поэтому руководство состоит из двух частей:

первая часть устанавливает метод расчета режимов нагрузки по значениям параметров, полученным при проведении типовых испытаний образцов отдельных конструкций и/или изоляционных систем, и не содержит рекомендаций по режимам нагрузки. Расчеты приведены в виде алгоритмов, по которым могут быть составлены программы машинного расчета;

во второй части для построения графиков нагрузки установлены постоянные значения различных параметров, за исключением допустимых пределов температуры изоляции (табл. 1) и температуры наружного охлаждающего воздуха, независимо от изоляционной системы или конструктивного исполнения.

Руководство определяет способ работы сухих трансформаторов без превышения допустимых пределов термического износа изоляции. Допустимые пределы износа изоляции — это износ изоляции при номинальных условиях эксплуатации сухого трансформатора и номинальной температуре наружного охлаждающего воздуха.

2. Назначение

Назначение настоящего руководства — дать возможность рассчитать допустимую нагрузку, установить ее нормы для некоторых определенных режимов в зависимости от номинального тока и помочь потребителям в выборе номинальной мощности вновь устанавливаемых трансформаторов.

Начальную температуру наружного охлаждающего воздуха следует принимать равной 20 °С. Руководство разработано для этой температуры, а также для температуры наружного охлаждающего воздуха, равной 10 и 30 °С. Допускаются отклонения от этих температур при условии, что сокращение нормированного срока службы, вызванное эксплуатацией трансформатора при более высокой температуре наружного охлаждающего воздуха, будет компенсировано сокращением срока службы ниже нормального при более низкой температуре наружного охлаждающего воздуха.

Практически непрерывная продолжительная нагрузка при полном значении номинального тока не встречается и в настоящем руководстве приведены требования к периодическим суточным графикам нагрузки с учетом сезонных изменений температуры окружающей среды. Суточные сокращения срока службы, обусловленные тепловыми воздействиями, приравнивают к нормальному суточному сокращению срока службы сухого трансформатора, эксплуатируемого при номинальных напряжении, токе и температуре охлаждающего воздуха 20 °С.

На графиках рис. 5 (1) — 5 (12) указана допустимая нагрузка током, которая приводит к нормальному суточному сокращению срока службы, для температуры изоляционной системы обмотки, равной 105, 120, 130, 155, 180, 220 °С и следующих условий эксплуатации:

a) постоянная нагрузка при различной температуре наружного охлаждающего воздуха;

b) систематическая нагрузка при различной температуре наружного охлаждающего воздуха.

Примечание. Предполагается, что трансформатор как следует вентилируется и дополнительные нагрузочные потери не влияют заметно на температуру охлаждающего воздуха.

3. Условные обозначения

В настоящем руководстве использованы следующие условные обозначения:

a — подстрочный индекс, обозначающий «окружающую среду» (наружный охлаждающий воздух);

c — подстрочный индекс, обозначающий «наиболее нагретую точку обмотки» при номинальном токе и номинальной температуре наружного охлаждающего воздуха;

cc — подстрочный индекс, обозначающий «наиболее нагретую точку обмотки» при максимально допустимых режимах нагрузки, установленных в руководстве;

d — подстрочный индекс, обозначающий удвоение сокращения срока службы;

e — подстрочный индекс, обозначающий конечное «среднее значение температуры обмотки» для любой нагрузки;

i — подстрочный индекс, обозначающий начальное «среднее значение температуры обмотки» для любой нагрузки;

j — целое число, обозначающее порядковый номер дня года (от 1 до 365);

$K_1, K_2 \ldots K_n \ldots K_N$ — ток нагрузки в долях номинального тока;

m — подстрочный индекс, обозначающий максимальное «среднее значение температуры обмотки» (таким образом, для постоянного режима нагрузки при номинальном токе принято $\Delta\Theta_{mr} = \Delta\Theta_c / Z$, а для кратковременного режима при токе выше номинального, который приводит к ускоренному по сравнению с нормальным сокращению срока службы в течение этого периода, принято $\Delta\Theta_m = \Delta\Theta_{cc} / Z$;

n — подстрочный индекс, обозначающий какой-либо один период суточного цикла нагрузки;

q — показатель степени K, влияющий на изменение среднего значения превышения температуры в зависимости от тока нагрузки;

r — подстрочный индекс, обозначающий номинальное значение;

t — время;

t_b — продолжительность заданного тока нагрузки K_1 ($t_b \geqslant 24 - t_p$), ч;

t_p — максимально допустимая продолжительность заданного тока нагрузки K_2, ч;

$t_1, t_2, \ldots t_n \ldots t_N$ — продолжительность каждого режима нагрузки;

w — подстрочный индекс, обозначающий обмотку;

wh — подстрочный индекс, обозначающий «наиболее нагретую точку обмотки»;

A — амплитуда годового изменения среднесуточной температуры охлаждающей среды (предполагается синусоидальное изменение);

B — амплитуда суточного изменения температуры охлаждающей среды (предполагается синусоидальное изменение);

I — ток нагрузки, А (любое значение);

I_r — номинальный ток;

k — подстрочный индекс, обозначающий какой-нибудь отдельный период нагрузки, предшествующий началу периода нагрузки, для которого производится вычисление;

L — сокращение срока службы, ч;

L_{an} — расчетный годовой износ;

L_R — относительная скорость износа;

N — количество различных ежедневных периодов нагрузки;

T — сумма отдельных периодов нагрузки t_k, предшествующих началу периода нагрузки t_n, для которого производится вычисление;

Z — отношение превышения температуры наиболее нагретой точки к превышению средней температуры обмотки (см. также пояснения к подстрочному индексу m);

α — произвольная переменная, используемая при определении степени относительного сокращения срока службы;

$\Delta\Theta$ — превышение температуры, К;

ε — коэффициент точности определения температуры наиболее нагретой точки в начале 24-часового периода;

Θ — температура, °С;

Θ_{ad} — среднесуточная температура охлаждающей среды;

Θ_{ay} — среднегодовая температура охлаждающей среды;

τ — тепловая постоянная времени обмоток при номинальном токе, ч.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

4. Основа руководства

4.1. Вводная часть

Срок службы сухого трансформатора зависит от термического износа изоляции. Опыт показывает, что нормальный срок службы составляет несколько десятков лет. Точно определить эту цифру не представляется возможным, так как даже для двух одинаковых трансформаторов она может быть различной, особенно из-за различных эксплуатационных факторов.

Практически непрерывная продолжительная нагрузка при полном значении номинального тока нагрузки не встречается, поэтому следует учитывать различные эксплуатационные условия, а также вытекающие отсюда колебания в скорости термического износа изоляции трансформатора.

Таким образом, необходимо:

a) определить предполагаемый «нормальный» срок службы в зависимости от номинального тока нагрузки и номинальной температуры наиболее нагретой точки изоляции обмотки;

b) связать повышение температуры наиболее нагретой точки обмотки с увеличением скорости износа изоляции;

c) определить метод расчета чистого влияния на термический износ изоляции изменения температуры наиболее нагретой точки обмотки, вызванного сменами периода нагрузки, тока нагрузки и температуры охлаждающей среды;

d) сравнить чистое «сокращение срока службы», вызванное совокупностью различных факторов нагрузочного цикла, с нормальным сокращением срока службы. Отсюда для получения предполагаемого нормального срока службы трансформатора допускается подогнать какой-нибудь параметр нагрузочного цикла.

4.2. Параметры, используемые при расчетах

4.2.1. *Допустимые пределы температуры*

Таблица 1

Температура изоляционной системы (по Публикации МЭК 726), °С	Температура наиболее нагретой точки обмотки, °С		Допустимые пределы превышения средней температуры обмотки при номинальном токе, К (по Публикации МЭК 726) $\Delta\Theta_{wr}$
	номинальная Θ_c	максимально-допустимая Θ_{cc}	
105 (A)	95	140	60
120 (E)	110	155	75
130 (B)	120	165	80
155 (F)	145	190	100
180 (H)	175	220	125
220 (C)	210	250	150

4.2.2. Параметр Θ_c следует использовать при расчете нормального сокращения срока службы. Некоторые режимы работы, допускающие превышение этого уровня нормального сокращения срока службы, могут отличаться большими перегрузками, при этом температура наиболее нагретой точки намного превышает Θ_c . Соответственно введен параметр Θ_{cc}, представляющий абсолютный допустимый предел температуры наиболее нагретой точки. При температуре выше указанной скорость износа становится недопустимой (значения Θ_c и Θ_{cc} — по табл. 1).

4.2.3. Значение параметра Θ_d соответствует повышению температуры наиболее нагретой точки, при которой скорость старения удваивается.

4.2.4. Основной величиной, необходимой для расчета сокращения срока службы, является температура наиболее нагретой точки. Для этого необходимо знать превышение температуры этой точки для каждого режима нагрузки и температуру охлаждающей среды. Существует по меньшей мере два метода определения превышения температуры наиболее нагретой точки:

a) величина $\Delta\Theta_{whn}$ может быть определена во время испытаний на нагрев с различными нагрузками K_n;

b) по формуле

$$\Delta\theta_{whn} = Z \cdot \Delta\theta_{wr} \cdot K_n^q \ . \qquad (1)$$

Для этого необходимо знать значения Z, $\Delta\Theta_{wr}$ и q.

Предпочтительно использовать, когда это возможно, значения $\Delta\Theta_{whn}$, полученные в результате испытаний; таким образом исключается любая неточность подлинности коэффициента Z и неточность значения q. Опыт показывает, что в зависимости от типа трансформатора и уровня нагрузки, при которой он работает, q и Z принимают различные значения.

Примечание. Для некоторых конструкций обмотки определение $\Delta\Theta_{whn}$ допускается производить только на образцах трансформатора.

По результатам испытаний можно провести кривую $\Delta\Theta_{wh} = f(K)$, которая может быть использована при определении каждого значения K_n, необходимого для расчета соответствующего значения $\Delta\Theta_{whn}$.

4.2.5. Величины, получаемые при испытаниях на нагрев, проводимых на образце при различных режимах нагрузки:

τ — тепловая постоянная времени, ч.

Примечание. Учитывают обмотку с наименьшей постоянной времени;

$\Delta\Theta_{wr}$ — превышение средней температуры обмотки при номинальной мощности;

$\Delta\Theta_{wh} = f(K)$ — превышение температуры наиболее нагретой точки в установившемся режиме в зависимости от нагрузки.

4.2.6. Величины, получаемые при испытаниях на старение, проводимых на образцах изоляционных систем:

Θ_c — температура, при которой изоляционная система имеет нормальную продолжительность срока службы;

Θ_{cc} — максимальная температура, выше которой скорость износа изоляции становится недопустимой;

Θ_d — крутизна прямой срока службы изоляции — повышение температуры, вызывающее удвоенное сокращение срока службы.

4.2.7. Величины, относящиеся к условиям эксплуатации (см. рис. 1):

Θ_{ad} — среднесуточная температура охлаждающей среды;

Θ_{ay} — среднегодовая температура охлаждающей среды;

A — амплитуда годовых изменений среднесуточной температуры охлаждающей среды (предполагается синусоидальное изменение);

B — амплитуда изменений суточной температуры охлаждающей среды (предполагается синусоидальное изменение);

$K_1, K_2, \ldots K_n, \ldots K_N$ — участки режимов нагрузки;

$t_1, t_2, \ldots t_n, \ldots t_N$ — продолжительность участка режима нагрузки, ч;

N — количество режимов нагрузки.

4.3. Формулы

4.3.1. Для режима нагрузки K превышение температуры наиболее нагретой точки в конце интервала времени t вычисляют по формуле

$$\Delta\theta^{t}_{wh} = \Delta\theta^{t_{n-1}}_{wh} + (\Delta\theta_{whn} - \Delta\theta^{t_{n-1}}_{wh})\left(e - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \qquad (2)$$

или

$$\Delta\theta^{t}_{wh} = \Delta\theta_{whn} + (\Delta\theta^{t_{n-1}}_{wh} - \Delta\theta_{whn})e^{-\frac{t}{\tau}}, \qquad (3)$$

где $\Delta\Theta_{whn}$ получают из формулы

$$\Delta\theta_{whn} = Z \cdot \Delta\theta_{wr} \cdot K_n^q \qquad (4)$$

или из отношения $\Delta\Theta_{wh} = f(K)$, установленного в результате испытания.

Превышение температуры в конце каждого периода времени t_n определяют по этим же формулам, принимая $t=t_n$.

4.3.2. Суточное сокращение срока службы L_n при нагрузке K_n продолжительностью t_n в день рассчитывают по формуле

$$L_n=\int_{T}^{T+t_n} e^{\frac{\ln 2}{\theta d}\left[\Delta\theta_{wh}^{t}+B\sin\frac{2\pi}{24}(T+t)+\vartheta_{ad}-\theta_c\right]}dt, \qquad (5)$$

где $T=\sum_{k=1}^{n-1} t_k$.

Годовое сокращение срока службы L_{an} определяют по сумме суточных сокращений срока службы в течение 365 дней при нагрузках продолжительностью t_1 до t_N.

$$L_{an}=\sum_{i=1}^{365} e^{\frac{\ln 2}{\theta d}\left[\theta_{ay}+A\sin\frac{2\pi}{365}i\right]}\sum_{1}^{N}L_n, \text{ч}. \qquad (6)$$

Это значение сравнивают с нормальным сокращением срока службы за один год:

$$L \text{ нормальное}=24\times365\times e^{\frac{\ln 2}{\theta d}\cdot(\Delta\theta_{whr}+20-\theta_c)}, \text{ч}, \qquad (7)$$

т. е. L нормальное $=24\times365\times1=8760$ ч.

4.4. Определение перегрузки применительно к трансформатору с нормальным сокращением срока службы при заданном графике нагрузки

Приведенный на рис. 1 график нагрузки состоит из нескольких различных нагрузок током, значения которых могут быть отрегулированы с помощью общего коэффициента множителя.

Сокращение срока службы и относительную скорость износа L_R для начального графика нагрузки следует рассчитывать по программе, основанной на алгоритме, приведенном в п. 5.

Если L_R ниже единицы, следует вычислять перегрузку, которую устройство сможет выдержать.

Для этого выполняют расчет со значениями K'_1, K'_2 ... K'_N, равными неизменным αK_1, αK_2 ... αK_N и t_1, t_2 ... t_N.

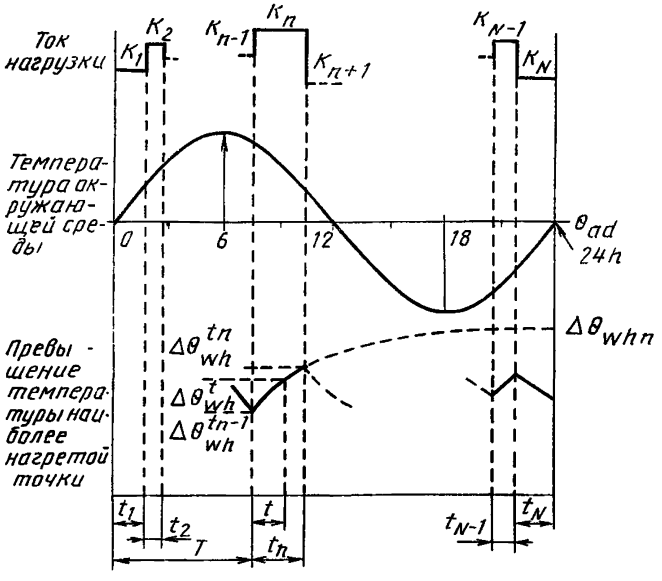
Коэффициент-множитель α должен быть немного больше единицы (например, 1,1).

Если рассчитанный таким образом относительный износ L'_R ниже 1, устанавливают $\alpha+0{,}1$ и расчет повторяют, и так до тех пор, пока не найдут значение α, при котором $L_R\geqslant1$.

Допустимой является перегрузка, полученная при расчете с предпоследним значением α.

Если в результате первого расчета получают сокращение срока службы L_R выше 1, расчет повторяют с более низким значением α (например, $\alpha=\alpha-0{,}01$), и т. д.

График нагрузки, используемый при подготовке программ машинного расчета



Примечание. Температура наиболее нагретой точки обмотки в каждое мгновение равна $\Delta\Theta_{wh}^{t}+\Theta_{ad}$.

Рис. 1

Вычисление повторяют до тех пор, пока не определят значение α, при котором L_R' равно или немного ниже 1.

Примечание. Если для определенного периода эксплуатации допускается сокращение срока службы выше нормального, следует выполнять такой же расчет, используя значение L_R выше 1.

4.5. Определение перегрузки (значения или продолжительности) применительно к трансформатору с заданным сокращением срока службы по упрощенному графику нагрузки

Приведенный на рис. 2 график нагрузки состоит из двух ступеней нагрузки током K_1 и K_2.

Предполагается, что температура охлаждающей среды постоянна в течение 24 ч.

4.5.1. *Расчет продолжительности перегрузки K_2' по заданному значению K_1*

При первом программном расчете с использованием алгоритма, приведенного в п. 5, определяют сокращение срока службы L для режима (K_1t_1, K_2t_2).

Устанавливают значение перегрузки K_2', рассчитывают L_1 и L_2' для тех же периодов времени t_1 и t_2. Полученное таким образом сокращение срока службы $L_1' + L_2'$ выше начального сокращения срока службы $L_1 + L_2$.

Уменьшают t_2 до $t_2 - \Delta t$ (что влечет за собой изменение t_1 до $t_1 + \Delta t$) и рассчитывают L_1 и L_2', в результате получают значение L' ниже предыдущего.

Такое действие повторяют до тех пор, пока не получат L', равное или немного меньше L.

Значение t, при котором получен этот результат, является допустимой продолжительностью перегрузки K_2'.

4.5.2. *Расчет значения K_2' перегрузки продолжительностью t_2 по заданным K_1 и t_1.*

В данном случае метод расчета соответствует приведенному в п. 4.4.

Получают коэффициент α, на который умножают K_2.

Упрощенный график нагрузки для режима систематических нагрузок за сутки и превышения средней температуры соответствующей обмотки

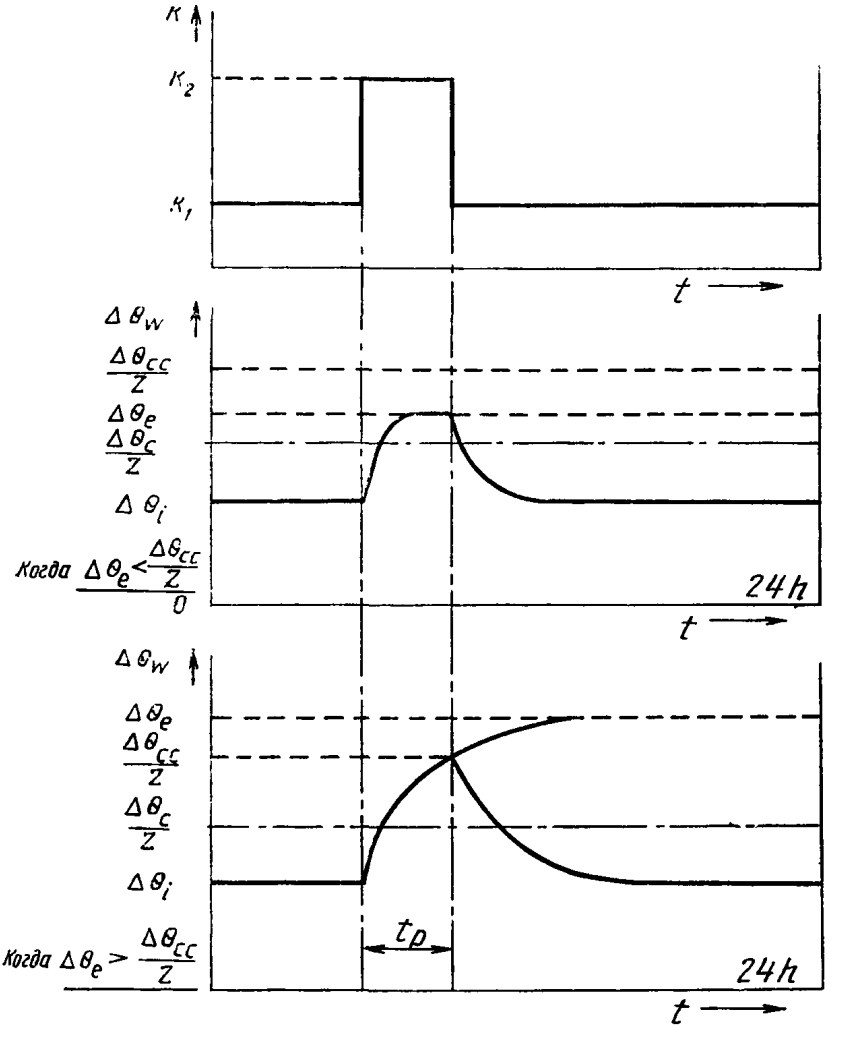
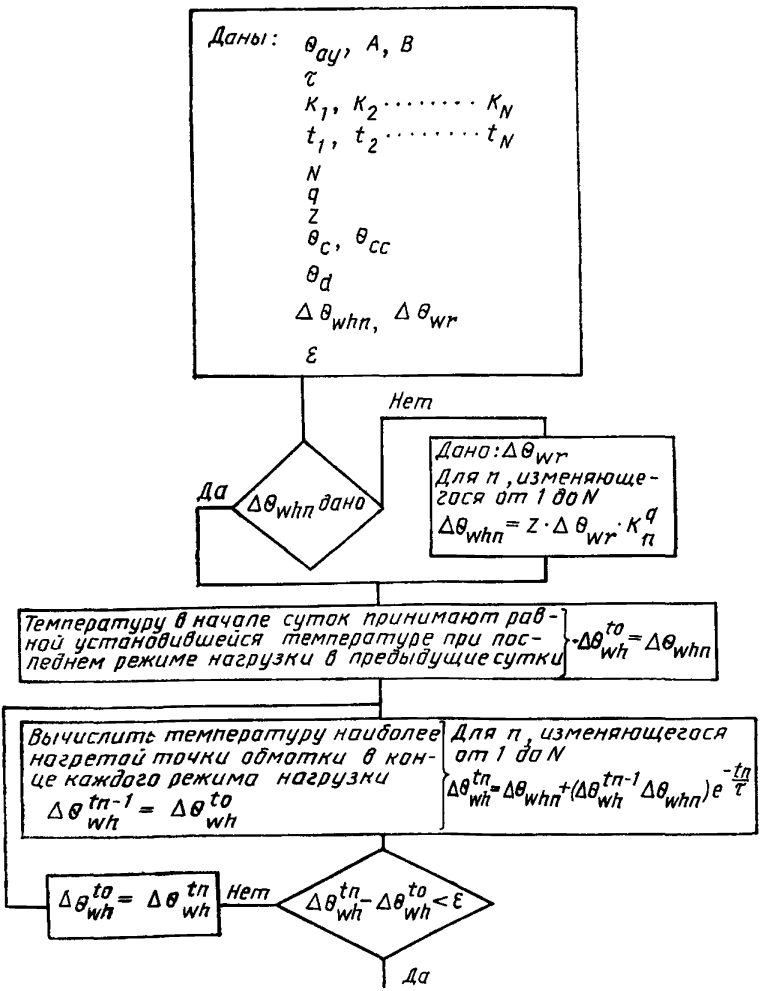


Рис. 2

5. Базовый алгоритм расчета «сокращения срока службы»

Алгоритм, приведенный на рис. 3, может быть использован для облегчения выполнения расчетов сокращения срока службы на вычислительной машине (см. пп. 4.4 и 4.5.1).



(Продолжение рис. 3 см. с. 17)

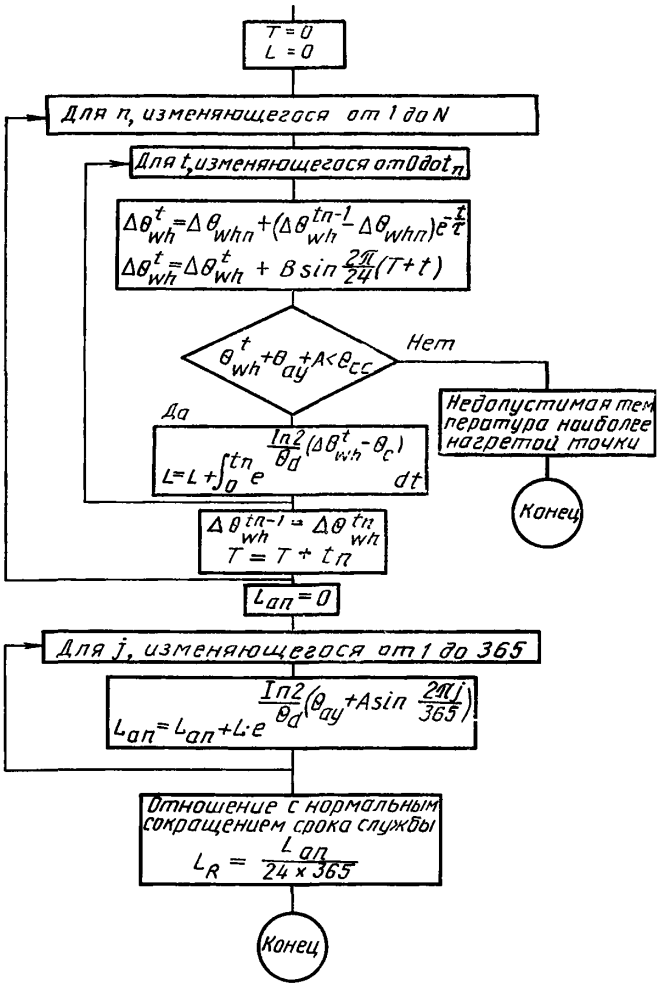

T = 0
L = 0
Для n, изменяющегося от 1 до N
Для t, изменяющегося от 0 до t_n
$\Delta\theta_{wh}^{t} = \Delta\theta_{whn} + (\Delta\theta_{wh}^{tn-1} - \Delta\theta_{whn})e^{-\frac{t}{\tau}}$
$\Delta\theta_{wh}^{t} = \Delta\theta_{wh}^{t} + B\sin\frac{2\pi}{24}(T+t)$
$\theta_{wh}^{t} + \theta_{ay} + A < \theta_{cc}$
Нет
Недопустимая температура наиболее нагретой точки
Конец
Да
$L = L + \int_0^{tn} e^{\frac{In2}{\theta_d}(\Delta\theta_{wh}^{t} - \theta_c)} dt$
$\Delta\theta_{wh}^{tn-1} = \Delta\theta_{wh}^{tn}$
$T = T + tn$
$L_{an} = 0$
Для j, изменяющегося от 1 до 365
$L_{an} = L_{an} + L \cdot e^{\frac{In2}{\theta_d}(\theta_{ay} + A\sin\frac{2\pi j}{365})}$
Отношение с нормальным сокращением срока службы
$L_R = \frac{L_{an}}{24 \times 365}$
Конец

Рис. 3

6. Ограничения

6.1. Для нормального режима систематических нагрузок токовая нагрузка не должна превышать 1,5 номинального значения.

6.2. Температура наиболее нагретой точки не должна превышать предельное значение Θ_{cc} для каждой температуры изоляционной системы, приведенной в табл. 1.

6.3. Не следует учитывать влияние потерь в стали на превышение температуры обмоток. Кроме того, напряжение выше номинального должно быть ограничено по формуле, приведенной в п. 4.4 Публикации МЭК 76—1 (см. также Публикацию МЭК 726, п. 7.4).

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

7. Основа для построения графиков нагрузки

7.1. Типичный график нагрузки

На рис. 2 приведен упрощенный суточный (24 ч) график систематических нагрузок, где начальная нагрузка $K_1=\frac{I_1}{I_r}$; за ней следует нагрузка $K_2=\frac{I_2}{I_r}$ продолжительностью t_p ч; затем следует возвращение к первоначальной нагрузке K_1 для оставшегося от 24 ч периода времени.

7.2. Параметры графиков нагрузки

При построении графиков нагрузки для всех температур изоляционной системы приняты следующие значения:

A — 0
B — 0
τ — 0,5 и 1,0 ч
Θ_{ay} — 10, 20, 30 °С (постоянная в течение 24 ч)
q — 1,6 для трансформаторов с естественным охлаждением
Z — 1,25
Θ_d — 10 К
N — 2

8. Выбор соответствующего графика нагрузки, примеры

Для любого упрощенного, как описано в п. 7.1, графика нагрузки следует выбрать кривую нагрузки, соответствующую температуре изоляционной системы при определенных тепловой постоянной времени и температуре охлаждающей среды Θ_a. Если значение Θ_a является промежуточным, то выбирают ближайшую кривую нагрузки или интерполируют между двумя ближайшими кривыми.

Пример 1. Определение допустимого тока нагрузки

Трансформатор мощностью 1000 кВА с охлаждением AN, температура изоляционной системы 155 °С, тепловая постоянная времени обмоток 0,5 ч, начальный ток нагрузки 722 А. Определить допустимый ток нагрузки продолжительностью 2 ч при температуре окружающей среды 20 °С (номинальный ток 1 444 А):

$$\theta_a = 20°C,\ K_1 = \frac{722}{1444} = 0{,}5,\ t_p = 2\text{ч}.$$

На рис. 5(7) $K_2 = 1{,}23$.

Отсюда допустимый ток нагрузки продолжительностью 2 ч равен 1776 А (затем снижается до 722 А на оставшийся от 24 ч период времени).

Пример 2. Определение номинальной мощности трансформатора для заданного режима

Выбрать трансформатор, нагрузка которого составляет 2020 А в течение 4 ч и 1444 А в течение остальных 20 ч при $\Theta_a = 10$ °С, температура изоляционной системы 155 °С, тепловая постоянная времени обмотки 0,5 ч:

$$\frac{2020}{1444} = \frac{I_2}{I_1} = 1{,}4 \text{ (см. рис.4)}.$$

Из графика на рис. 5(7) по прямой $t_p = 4$ ч и из отношения $\frac{K_2}{K_1} = 1{,}4$ находят значение $K_2 = 1{,}175$ и $K_1 = 0{,}84$.

Отсюда эквивалентная постоянная нагрузка будет равна

$$\frac{2020}{1{,}175} = \frac{1444}{0{,}84} = 1720A\ .$$

Следовательно, номинальная мощность трехфазного трансформатора со вторичным напряжением холостого хода 400 В будет равна

$$3 \times 400 \times 1720 \times 10^{-3} = 1192\text{кВ} \cdot \text{А}.$$

Принимать следует ближайшее большое значение нормированной мощности, например, 1250 кВ·А.

Иллюстрация примера 2

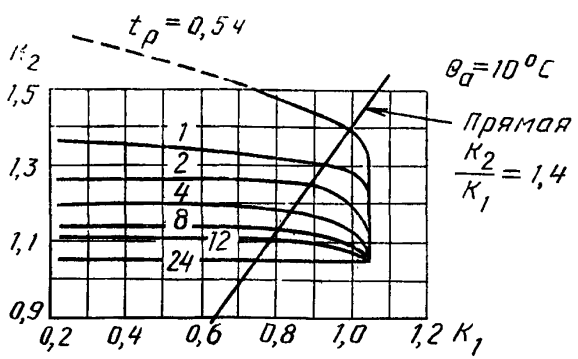


Рис. 4

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 105 °С, τ=0,5 ч, Θ_a =10, 20 и 30 °С

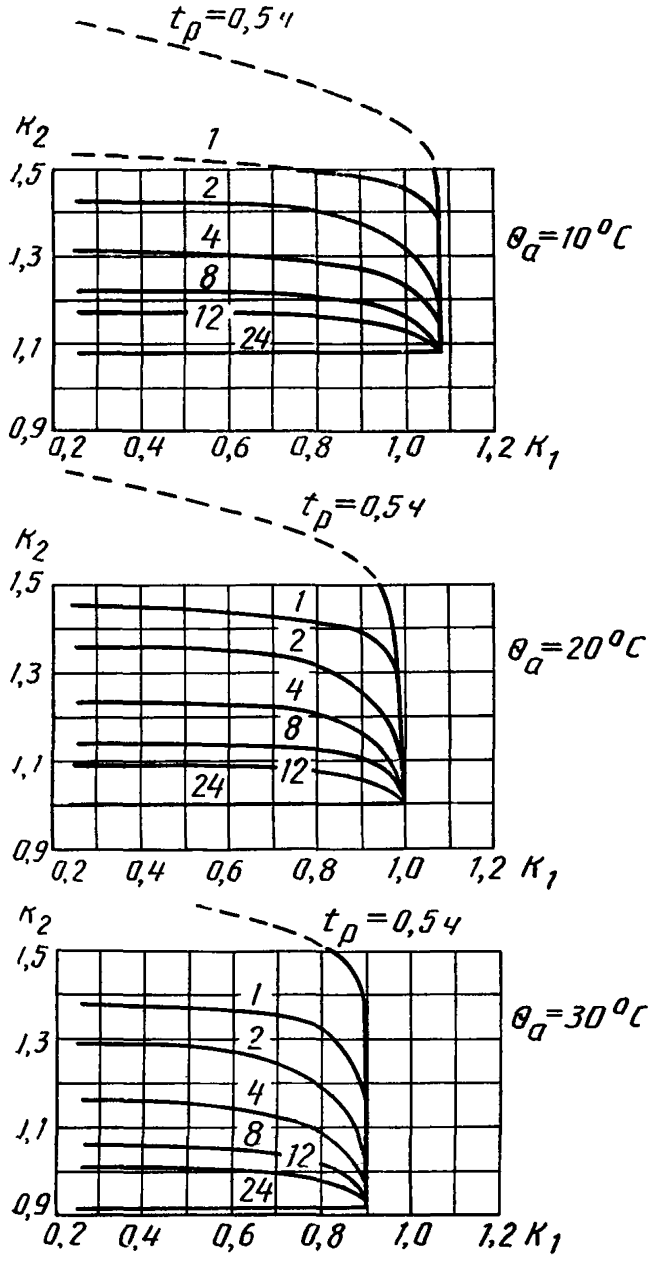


Рис. 5 (1)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 105 °С, τ=1,0 ч, Θ_a =10, 20 и 30 °С

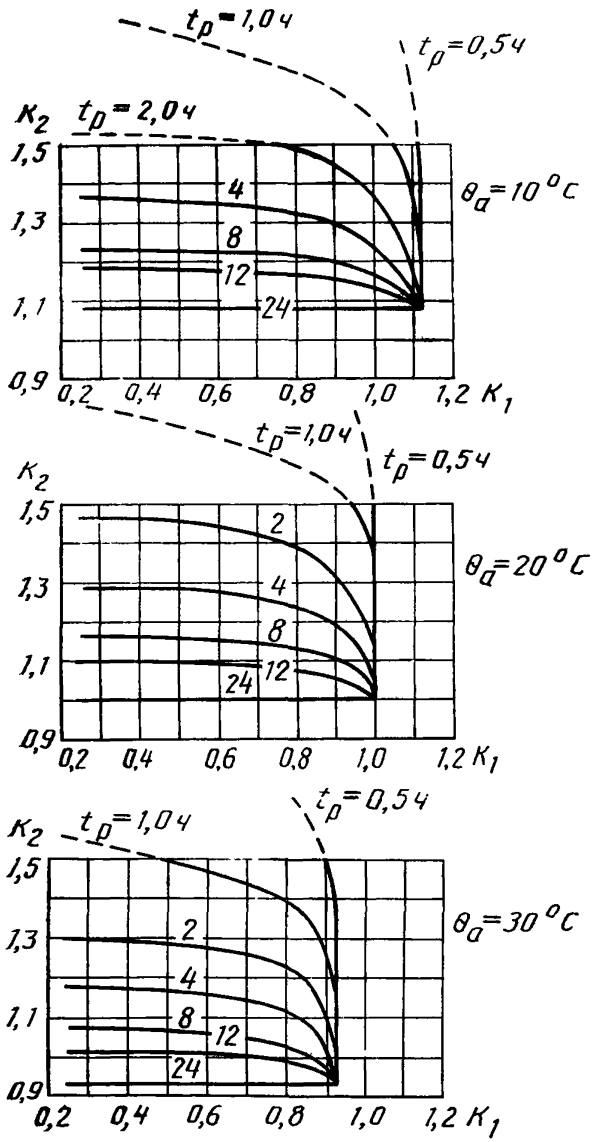


Рис. 5 (2)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 120 °С, τ=0,5 ч, Θ_a=10, 20 и 30 °С

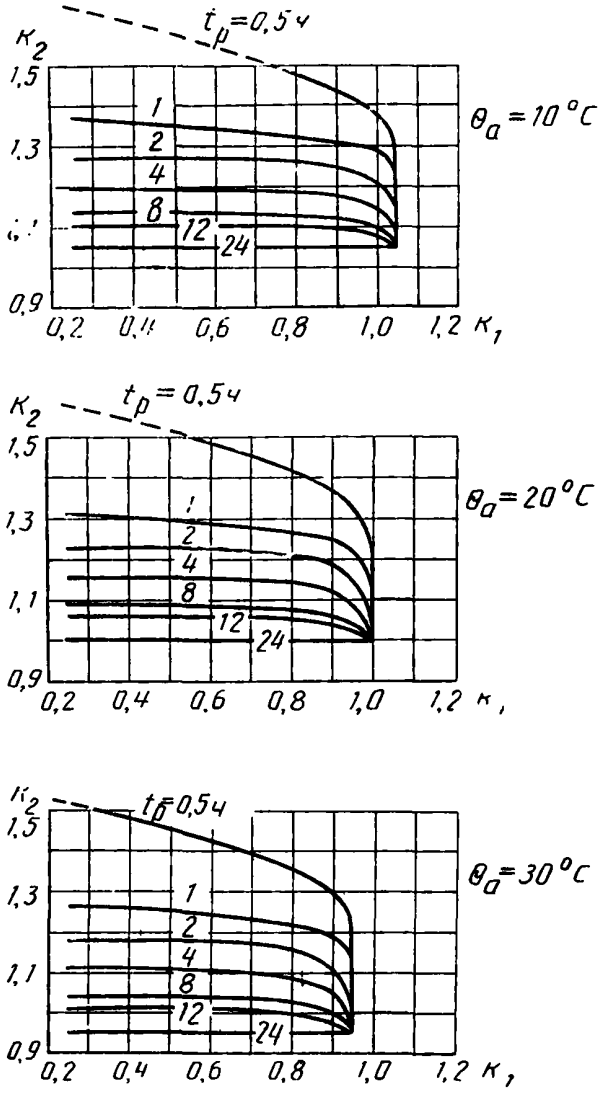


Рис. 5 (3)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 120 °С, τ=1,0 ч, Θ_a=10, 20 и 30 °С

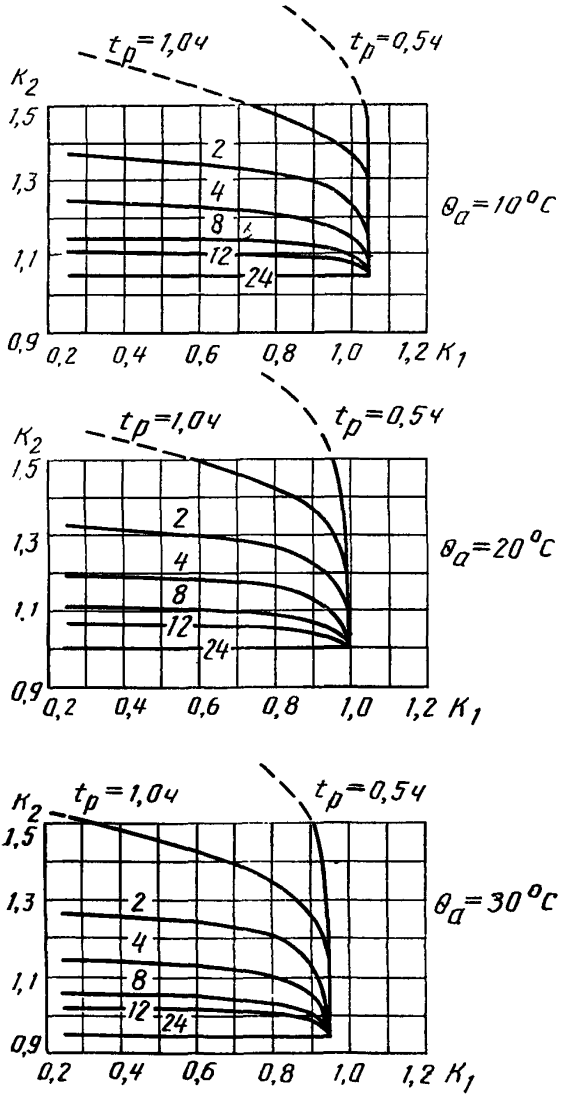


Рис. 5 (4)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 130 °С, $\tau = 0{,}5$ ч, $\Theta_a = 10, 20$ и 30 °С

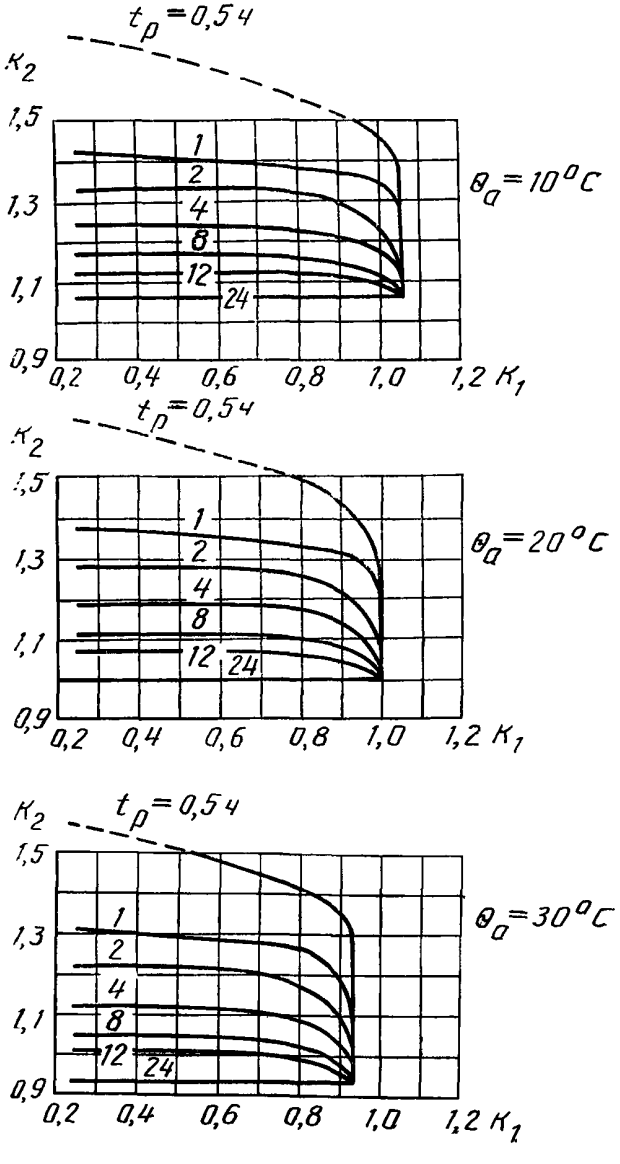


Рис. 5 (5)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 130 °С, τ=1,0 ч, Θ_a=10, 20 и 30 °С

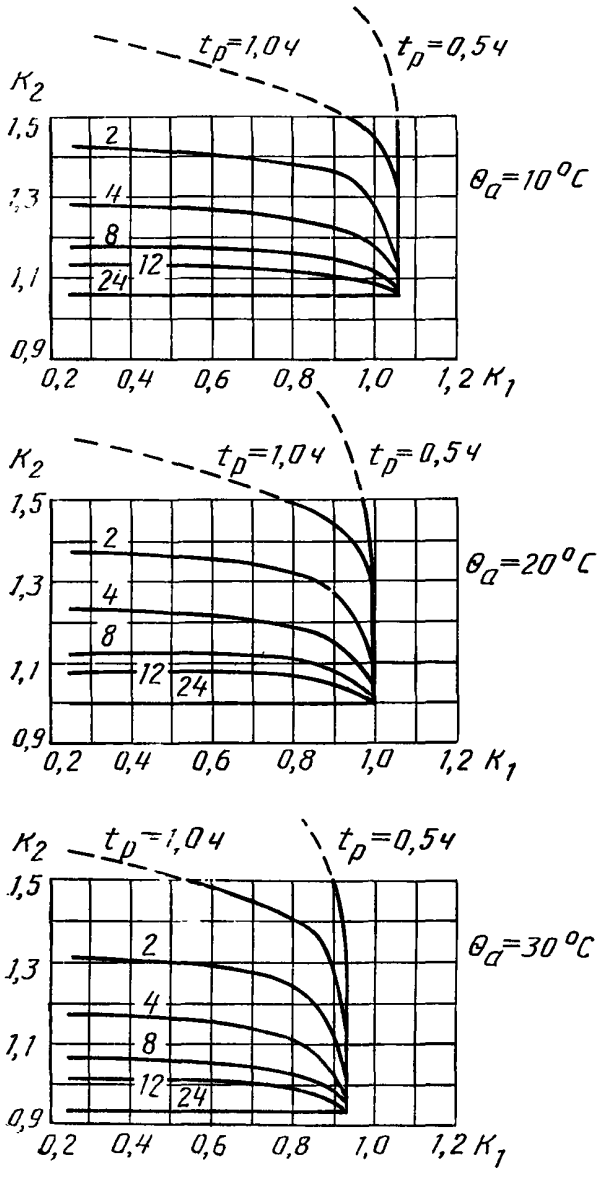


Рис. 5 (6)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 155 °С, τ=0,5 ч, Θ_a=10, 20 и 30 °С

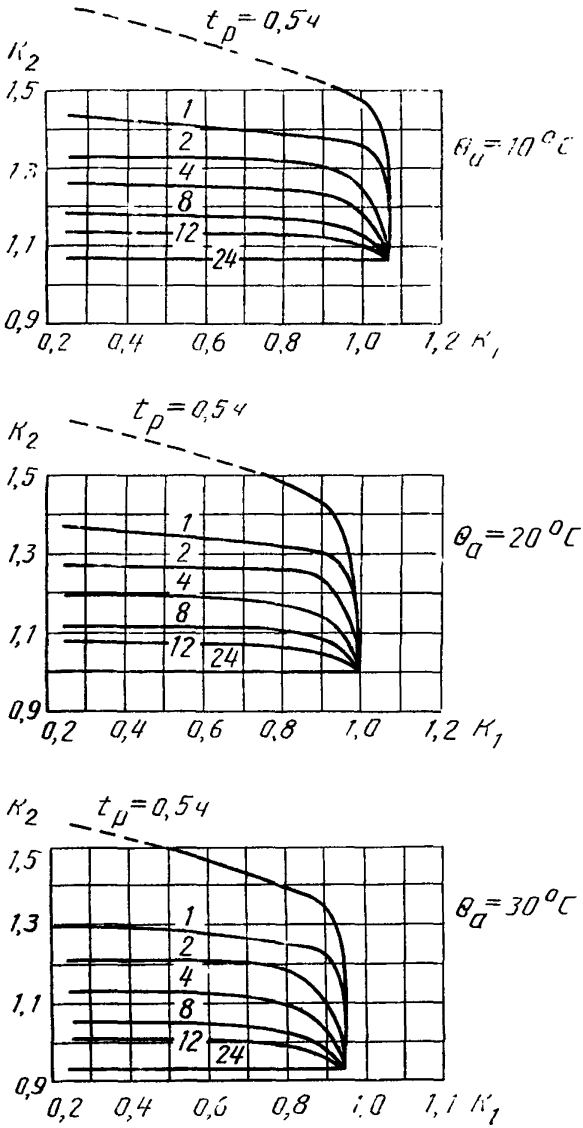


Рис. 5 (7)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 155 °С, $\tau = 1{,}0$ ч, $\Theta_a = 10$, 20 и 30 °С

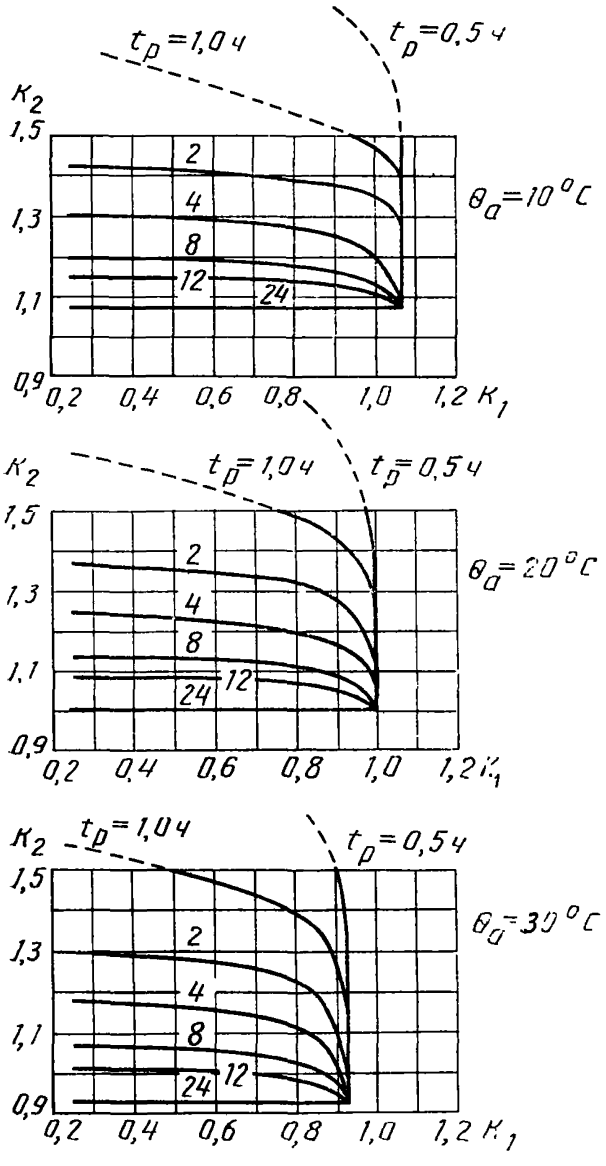


Рис. 5 (8)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 180 °С, $\tau = 0{,}5$ ч, $\Theta_a = 10$, 20 и 30 °С

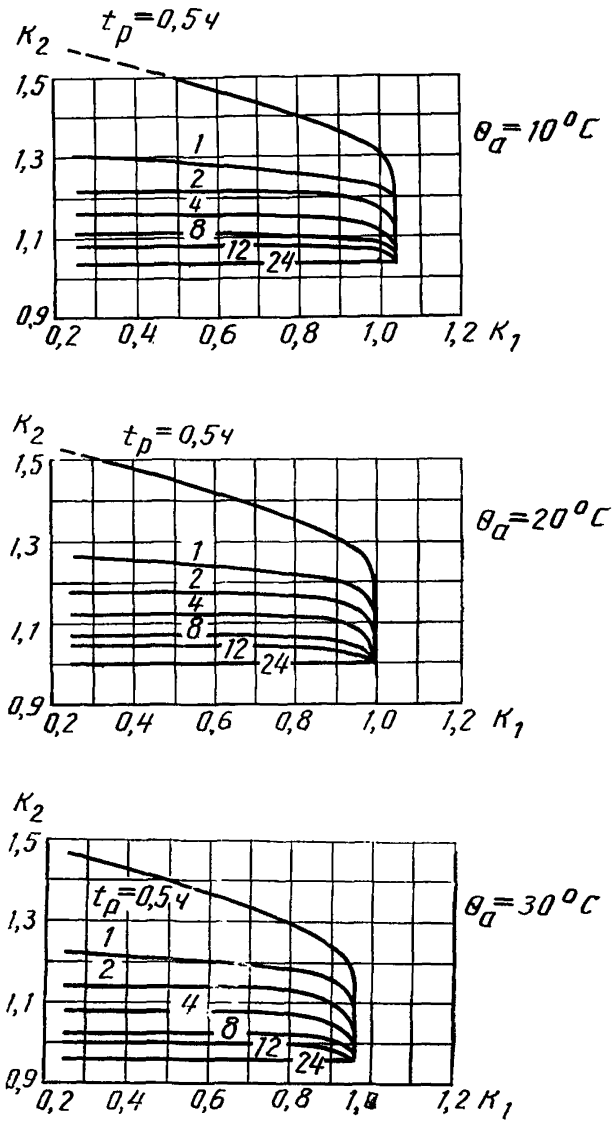


Рис. 5 (9)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 180 °С, τ=1,0 ч, Θ_a=10, 20 и 30 °С

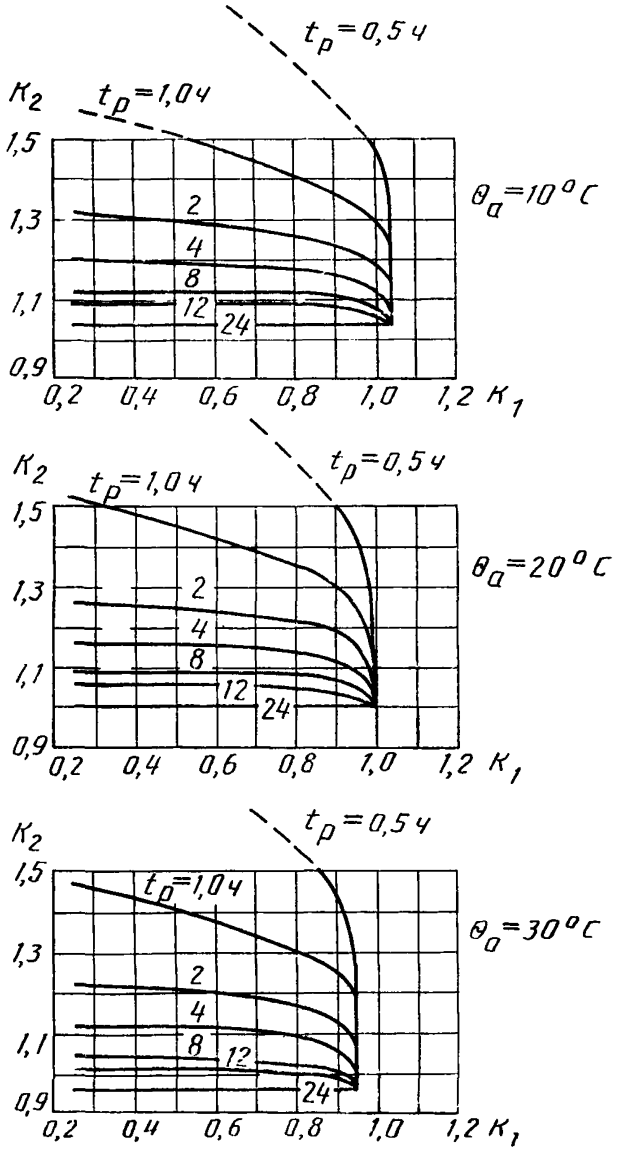


Рис. 5 (10)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 220 °С, $\tau = 0{,}5$ ч, $\Theta_a = 10$, 20 и 30 °С

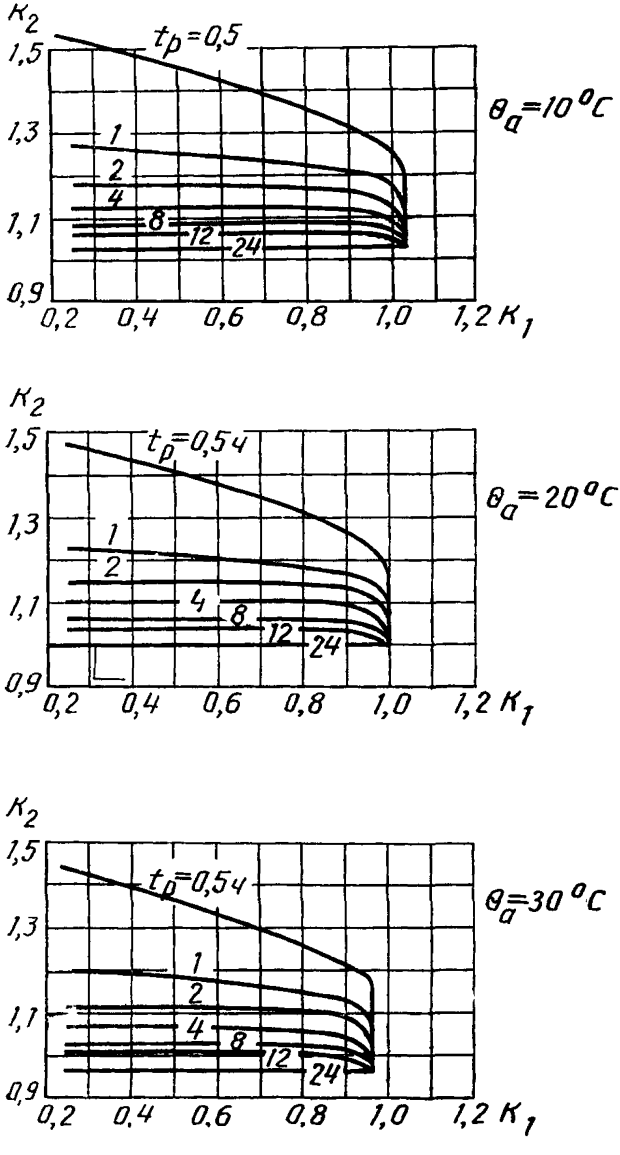


Рис. 5 (11)

Графики нагрузок для температуры изоляционной системы 220 °С, τ = 1,0 ч, Θ_a = 10, 2 и 30 °С

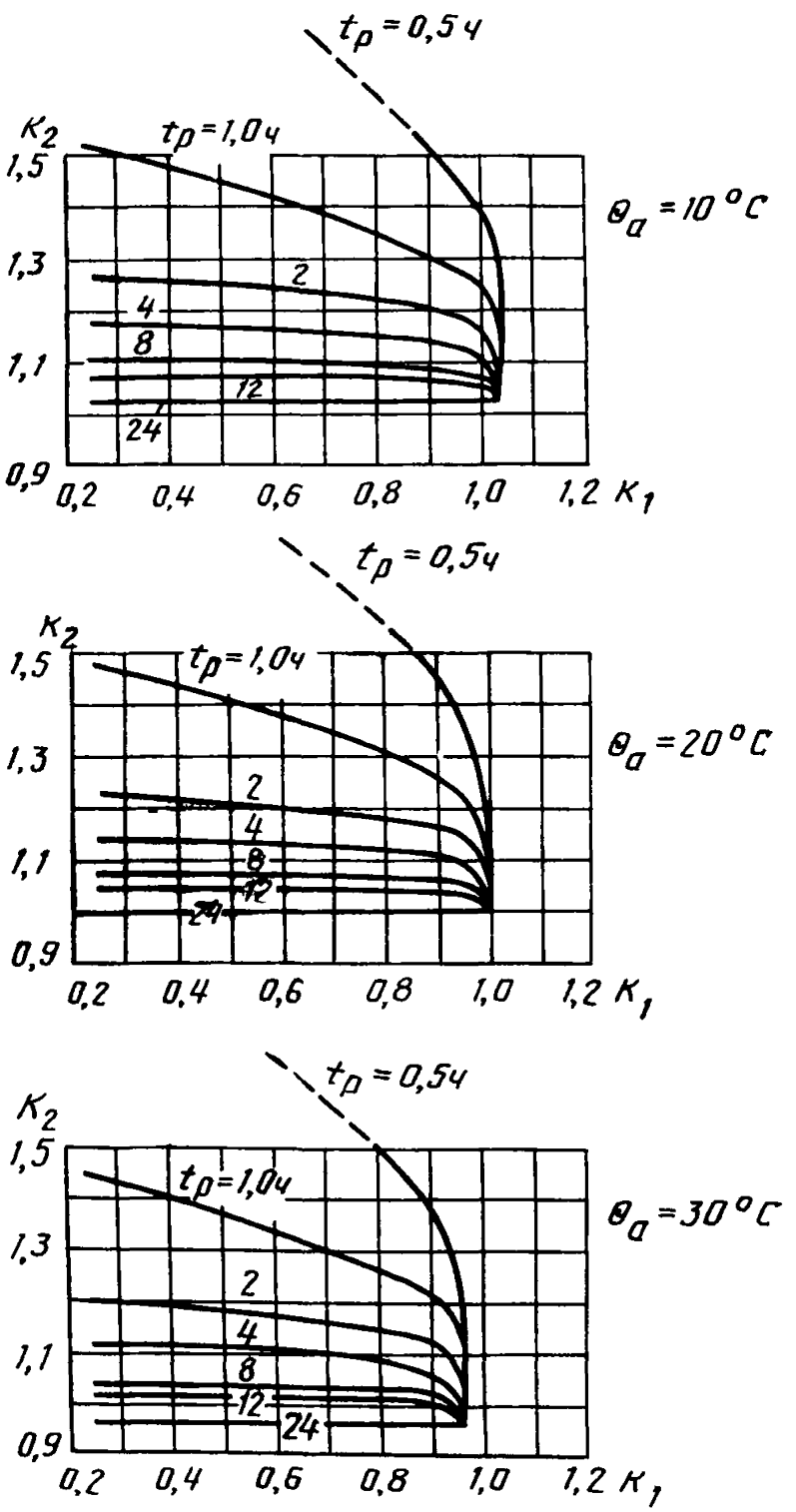


Рис. 5 (12)

ПУБЛИКАЦИИ МЭК, ПОДГОТОВЛЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИМ КОМИТЕТОМ 14

76	(1967)	Силовые трансформаторы
76—1	(1976)	Силовые трансформаторы. Часть 1. Общие положения
76—2	(1976)	Силовые трансформаторы. Часть 2. Превышение температуры
76—3	(1980)	Силовые трансформаторы. Часть 3. Уровни изоляции и испытания изоляции. Изменение № 1 (1981)
76—3—1	(1987)	Силовые трансформаторы. Часть 3. Уровни изоляции и испытания изоляции. Внешние воздушные промежутки
76—4	(1976)	Силовые трансформаторы. Часть 4. Ответвления и соединения
76—5	(1976)	Силовые трансформаторы. Часть 5. Стойкость при коротких замыканиях. Изменение № 1 (1979)
214	(1976)	Устройства переключения ответвлений обмоток трансформатора под нагрузкой
289	(1968)	Реакторы
354	(1972)	Руководство по нагрузке масляных трансформаторов
542	(1976)	Руководство по применению устройств переключения ответвлений обмоток трансформатора под нагрузкой
551	(1976)	Измерение уровней звука трансформаторов и реакторов
606	(1978)	Руководство по применению силовых трансформаторов
616	(1978)	Маркировка выводов и ответвлений силовых трансформаторов
722	(1982)	Руководство по испытаниям силовых трансформаторов и реакторов грозовым и коммутационным импульсами
726	(1982)	Силовые сухие трансформаторы Изменение № 1 (1986)
742	(1983)	Разделительные трансформаторы и безопасные разделительные трансформаторы. Технические требования
905	(1987)	Руководство по нагрузке силовых сухих трансформаторов

Переводчик *Н. И. Малюк*
Научный редактор *Т. В. Дубицкая*
Редактор издательства *Н. Е. Шестакова*
Технический редактор *Л. Я. Митрофанова*
Корректор *О. Я. Чернецова*

Сдано в наб. 11.12.89 Подп. в печ. 21.02.90 2,0 усл. п. л. 2,13 усл. кр.-отт. 1,72 уч.-изд. л. Тир. 800 Цена 10 к.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, ГСП
Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 2324

gost.e-ecolog.ru