

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

РУКОВОДСТВО ПО НАГРУЗКЕ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

LOADING GUIDE FOR OIL-IMMERSED POWER TRANSFORMERS

Дата введения 2002.01.01

ПРЕДИСЛОВИЕ

1 РАЗРАБОТАН МТК 36; Открытым акционерным обществом «Украинский научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт трансформаторостроения» ОАО «ВИТ»

ВНЕСЕН Государственным комитетом Украины по стандартизации, метрологии и сертификации

2 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 11 от 23.04.1997 г.)

За принятие проголосовали:

Наименование государства	Наименование национального органа стандартизации
Азербайджанская Республика	Азгосстандарт
Республика Армения	Армгосстандарт
Республика Беларусь	Госстандарт Республики Беларусь
Республика Казахстан	Госстандарт Республики Казахстан
Кыргызская Республика	Кыргызстандарт
Республика Молдова	Молдовастандарт
Российская Федерация	Госстандарт России
Республика Таджикистан	Таджикгосстандарт
Туркменистан	Главгосинспекция Туркменистана
Республика Узбекистан	Узгосстандарт
Украина	Госстандарт Украины

3 Настоящий стандарт представляет собой полный аутентичный текст МЭК 354 (1991) «Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов» с дополнениями, набранными курсивом

4 Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 02.04.2001 №158-ст Межгосударственный стандарт ГОСТ 14209-97 введен в действие в качестве Государственного стандарта Российской Федерации с 01.01.2002.

5 Взамен ГОСТ 14209-85

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение НД, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта, перечисления, приложения
ГОСТ 3484.2-88	1.2, 2.3.3, 2.6.1, приложение В
ГОСТ 11677-85	1.1, 1.6.4, 1.6.5, 2.6.1, 2.6.2, приложение С

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на масляные трансформаторы, соответствующие требованиям ГОСТ 11677. Стандарт содержит рекомендации по допустимым режимам нагрузок, превышающих номинальную мощность «трансформаторов в пределах установленных ограничений. Относительно печных трансформаторов, из-за особенностей их режимов нагрузки, следует пользоваться соответствующей консультацией у изготовителя.

1.2 Назначение

В настоящем стандарте приведены указания по определению технически обоснованных режимов нагрузки силовых трансформаторов с точки зрения допустимых температур и термического износа. Даны рекомендации по эксплуатации трансформаторов с нагрузкой, превышающей номинальное значение, и рекомендации для потребителей по выбору соответствующих номинальных величин и условий нагрузки вновь устанавливаемых трансформаторов.

Требования к превышениям температуры масляных трансформаторов при постоянной номинальной нагрузке и соответствующие испытания - по ГОСТ 3484.2. Следует отметить, что в ГОСТ 3484.2 за основу принято среднее значение превышения температуры обмотки, тогда как в настоящем стандарте ссылаются, в основном, на температуру наиболее нагретой точки; указанные значения приводятся только как рекомендуемые.

В стандарте приводятся математические модели для оценки возможных последствий различных режимов нагрузки, циклических или систематических, при различных температурах охлаждающей среды. Эти модели включают методики расчета допустимой температуры в трансформаторе, в частности, температуры наиболее нагретой точки обмотки. Эта температура, в свою очередь, используется для определения относительной скорости термического износа.

Стандарт содержит также рекомендации по ограничению допустимых нагрузок в соответствии с результатами расчета температуры. Настоящие рекомендации распространяются на трансформаторы различных категорий в зависимости от мощности и назначения, а также учитывают режимы нагрузки: режим постоянных нагрузок, режим систематических неаварийных нагрузок или режим кратковременных аварийных нагрузок.

Для трансформаторов малой мощности, называемых здесь распределительными, в стандарте приведены графики определения циклических режимов нагрузки для заданной температуры охлаждающей среды по отношению к номинальным условиям нагрузки при нормальной температуре для трансформаторов, соответствующих ГОСТ 3484.2.

Для трансформаторов большой мощности методы расчета температуры отличаются в зависимости от вида охлаждения. Категория трансформаторов средней мощности включает трехфазные двухобмоточные трансформаторы мощностью до 100 МВ·А или эквивалентные им:

трансформаторы большей номинальной мощности (свыше 100 МВ·А) определены как трансформаторы большой мощности. Для таких трансформаторов рекомендуется выполнять расчеты по значениям отдельных параметров, полученных при проведении типовых испытаний. По изложенным в настоящем документе причинам рекомендуемые ограничения для этих двух категорий трансформаторов имеют незначительные различия.

Часть первая «Общие положения» включает определения, общие принципы, основные данные и специальные рекомендации по работе различных категорий трансформаторов.

Во второй части «Расчет температуры» представлены используемые математические модели.

В третьей части «Таблицы допустимых нагрузок» приведены результаты расчета в виде графиков и таблиц для стандартных условий.

1.3 Определения

В настоящем стандарте приняты следующие определения:

1.3.1 Распределительный трансформатор

Трехфазный трансформатор номинальной мощностью не более 2500 кВ·А или однофазный номинальной мощностью не более 833 кВ·А классов напряжения до 35 кВ включительно, то есть понижающий трансформатор с отдельными обмотками и напряжением распределительной сети, с охлаждением *ON* и без переключения ответвлений обмоток под нагрузкой.

1.3.2 Трансформатор средней мощности

Трехфазный трансформатор номинальной мощностью не более 100 МВ·А или однофазный номинальной мощностью не более 33,3 МВ·А с отдельными обмотками, в котором сопротивление короткого замыкания Z_{τ_r} (в процентах) вследствие ограничений плотности потока рассеяния не превышает значения

$$Z_r = \left(25 - 0,1 \frac{3S_r}{W} \right)$$

где W - количество стержней;

S_r - номинальная мощность, МВ·А.

Эквивалентный номинальный режим для автотрансформаторов определяется по приложению А.

1.3.3 Трансформатор большой мощности

Трансформатор мощностью более 100 МВ·А (трехфазный) или с предельным сопротивлением короткого замыкания, превышающим приведенное выше значение.

1.3.4 Режим циклических нагрузок

Режим нагрузки с циклическими изменениями (обычно цикл равен суткам), который определяют с учетом среднего значения износа за продолжительность цикла. Режим циклических нагрузок может быть режимом систематических нагрузок или режимом продолжительных аварийных перегрузок.

а) Режим систематических нагрузок

Режим, в течение части цикла которого температура охлаждающей среды может быть более высокой и ток нагрузки превышает номинальный, однако с точки зрения термического износа (в соответствии с математической моделью) такая нагрузка эквивалентна номинальной нагрузке при номинальной температуре охлаждающей среды. Это достигается за счет понижения температуры охлаждающей среды или тока нагрузки в течение остальной части цикла.

При планировании нагрузок этот принцип может быть распространен на длительные периоды, в течение которых циклы со скоростью относительного износа изоляции более единицы компенсируются циклами со скоростью износа менее единицы.

б) Режим продолжительных аварийных перегрузок

Режим нагрузки, возникающий в результате продолжительного выхода из строя некоторых элементов сети, которые могут быть восстановлены только после достижения постоянного значения превышения температуры трансформатора. Это не обычное рабочее состояние, и предполагается, что оно будет возникать редко, однако может длиться в течение недель или даже месяцев и вызывать значительный термический износ. Тем не менее такая нагрузка не должна быть причиной аварии вследствие термического повреждения или снижения электрической прочности изоляции трансформатора.

1.3.5 Режим кратковременных аварийных перегрузок

Режим чрезвычайно высокой нагрузки, вызванный непредвиденными воздействиями, которые приводят к значительным нарушениям нормальной работы сети, при этом температура наиболее нагретой точки проводников достигает опасных значений и в некоторых случаях происходит временное снижение электрической прочности изоляции. Однако на короткий период времени этот режим может быть предпочтительнее других. Можно предполагать, что нагрузки такого типа будут возникать редко. Их необходимо по возможности быстрее снизить или на короткое время отключить трансформатор во избежание его повреждения. Допустимая продолжительность такой нагрузки меньше тепловой постоянной времени трансформатора и зависит от достигнутой температуры до перегрузки; обычно продолжительность перегрузки составляет менее получаса.

1.4 Основные ограничения и воздействия режима нагрузок, превышающих номинальные значения

1.4.1 Воздействие режима нагрузок, превышающих номинальные значения

1.4.1.1 Факторы, влияющие на срок службы

Действительный срок службы трансформатора в значительной степени зависит от исключительных воздействий, таких как перенапряжения, короткие замыкания в сети и аварийные перегрузки. Вероятность безотказной работы при таких воздействиях, возникающих отдельно или в сочетании, зависит в основном от:

- а) значительности (амплитуды и длительности) воздействия;
- б) конструкции трансформатора;
- в) температуры различных частей трансформатора;
- г) содержания влаги в изоляции и масле;

- д) содержания кислорода и других газов в изоляции и масле;
- е) количества, размера и вида частиц примесей.

Предполагаемый нормальный срок службы - это некоторая условная величина, принимаемая для непрерывной постоянной нагрузки при нормальной температуре охлаждающей среды и номинальных условиях эксплуатации. Нагрузка и (или) температура охлаждающей среды, превышающие номинальную, вызывают ускоренный износ и заключают в себе некоторую степень риска. Целью настоящего стандарта и является определение степени риска и установление некоторых ограничений режимов нагрузки трансформаторов, превышающих номинальные значения.

Режим нагрузки трансформатора, превышающей номинальное значение, приводит к следующему:

- а) температура обмоток, отводов, соединений, изоляции и масла увеличивается и может превысить допустимые значения;
- б) возрастает плотность потока рассеяния вне магнитной системы, что в результате образования вихревых токов вызывает больший нагрев металлических частей, охваченных этим потоком;
- в) сочетание основного и добавочного потоков рассеяния ограничивает эксплуатационные возможности магнитной системы при высокой индукции;
- г) с изменением температуры изменяется содержание влаги и газа в изоляции и масле;
- д) вводы, переключатели, концевые заделки кабеля и трансформаторы тока также подвергаются повышенным нагрузкам, что ограничивает возможности их применения.

Таким образом, с увеличением тока нагрузки и температуры возникает опасность преждевременного отказа. Такая опасность может возникнуть немедленно или явиться следствием общего ухудшения состояния трансформатора в течение многих лет.

1.4.1.2 Опасность кратковременных воздействий:

а) основной опасностью, вызывающей отказ трансформатора при кратковременных воздействиях, является снижение электрической прочности изоляции вследствие возможного выделения пузырьков газа в местах с высокой электростатической напряженностью, т.е. в обмотках или соединениях.

В бумажной изоляции пузырьки газа могут скапливаться при внезапном повышении критического значения температуры наиболее нагретой точки, равного для трансформаторов с нормальным содержанием влаги приблизительно от 140 до 160 °С. С увеличением концентрации влаги эта критическая температура незначительно уменьшается.

Пузырьки газа могут также скапливаться на поверхности крупных металлических частей, нагретых потоком рассеяния, или выделяться при перенасыщении масла. Однако пузырьки обычно скапливаются в местах с низкой электростатической напряженностью и должны перемещаться в места с более высокой электростатической напряженностью до того, как произойдет значительное снижение электрической прочности изоляции.

Допускается резкое, до 180 °С, повышение температуры неизолированных металлических частей, находящихся в трансформаторном масле, но непосредственно не соприкасающихся с основной органической изоляцией;

- б) временное ухудшение механических свойств при повышенной температуре может снизить стойкость трансформатора при коротком замыкании;
- в) при повышении давления во вводах может произойти пробой вследствие утечки масла. Если температура изоляции превышает значение 140 °С, во вводах также может происходить скопление газов;
- г) при расширении масла может произойти его перелив из расширителя;
- д) переключение очень больших токов переключателем может быть опасным.

1.4.1.3 Опасность длительных воздействий

а) при повышенной температуре скорость совокупного термического износа изоляции проводников повышается. Если такое воздействие продолжается достаточно долго, может произойти сокращение действительного срока службы трансформатора, особенно если трансформатор подвергается коротким замыканиям сети;

- б) при повышенной температуре может также повыситься скорость износа других изоляционных материалов, а также проводников и некоторых механических частей;
- в) при повышенных токе и температуре переходное сопротивление контактов переключающих устройств может увеличиться и в конечном итоге вызвать недопустимый их перегрев;
- г) уплотняющие материалы в трансформаторе при повышенной температуре становятся более хрупкими.

Опасность кратковременных воздействий обычно прекращается после снижения нагрузки до нормальной, однако с точки зрения уровня надежности трансформатора она может нанести более значительный ущерб, чем длительные воздействия.

Настоящий стандарт предусматривает одновременное ограничение нагрузочной способности кратковременными и длительными воздействиями. Таблицы и графики, приведенные в стандарте, основаны на традиционных методах расчета предполагаемой долговечности бумажной изоляции по механическим свойствам в зависимости от времени и температуры, в то время как ограничения предельных температур наиболее нагретой точки устанавливаются ввиду опасности немедленного отказа.

1.4.2 Мощность трансформатора

Чувствительность трансформатора к нагрузкам выше номинальных обычно зависит от мощности. С увеличением мощности трансформатора наблюдается следующее:

- а) увеличивается индуктивность рассеивания;
- б) увеличиваются усилия короткого замыкания;
- в) увеличивается поверхность изоляции с электростатической напряженностью;
- г) сложнее определяется достоверная температура наиболее нагретой точки.

Таким образом, трансформаторы большой мощности могут быть менее устойчивыми к перегрузкам, чем трансформаторы меньшей мощности. Кроме того, выход из строя мощных трансформаторов влечет за собой более тяжелые последствия, чем отказ трансформаторов малой мощности.

С целью сохранения возможно меньшей степени риска при ожидаемых перегрузках в настоящем стандарте рассматриваются три категории трансформаторов:

- а) распределительные трансформаторы, для которых учитываются только температура наиболее нагретой точки и термический износ;
- б) трансформаторы средней мощности, для которых воздействия потока рассеяния не являются критическими, однако должны учитываться различные виды охлаждения;
- в) трансформаторы большой мощности, для которых воздействия потока рассеяния и последствия отказа могут быть значительными.

1.4.3 Ограничения тока и температуры

При нагрузке, превышающей номинальную, рекомендуется не превышать предельные значения, приведенные в таблице 1 и учитывать специальные ограничения, приведенные в 1.5-1.7.

Таблица 1 - Предельные значения температуры и тока для режимов нагрузки, превышающей номинальную

Тип нагрузки	Трансформаторы		
	распределительные	средней мощности	большой мощности
Режим систематических нагрузок			
Ток, отн. ед.	1,5	1,5	1,3
Температура наиболее нагретой точки и металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом, °С	140	140	120
Температура масла в верхних слоях, °С	105	105	105
Режим продолжительных аварийных перегрузок			
Ток, отн. ед.	1,8	1,5	1,3
Температура наиболее нагретой точки и металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом, °С	150	140	130
Температура масла в верхних слоях, °С	115	115	115
Режим кратковременных аварийных перегрузок			
Ток, отн. ед.	2,0	1,8	1,5
Температура наиболее нагретой точки и металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом, °С	По 1.5.2	160	160
Температура масла в верхних слоях, °С	По 1.5.2	115	115

1.5 Специальные ограничения для распределительных трансформаторов

1.5.1 Ограничение мощности

В настоящем пункте рассматриваются распределительные трансформаторы мощностью не более 2500 кВ·А, определение которых приведено в 1.3.1.

1.5.2 Ограничение тока и температуры

Не следует превышать приведенные в таблице 1 предельные значения тока нагрузки, температуры наиболее нагретой точки обмоток и температуры масла в верхних слоях. Для режимов кратковременных аварийных перегрузок предельные значения температуры масла в верхних слоях и наиболее нагретой точки не установлены, так как на практике невозможно контролировать продолжительность аварийной перегрузки распределительных трансформаторов. Следует иметь в виду, что при температуре наиболее нагретой точки, превышающей 140-160 °С, возможно выделение пузырьков газа, снижающих электрическую прочность изоляции трансформатора (см. 1.4.1.2. Опасность кратковременных воздействий).

1.5.3 Другие части трансформатора

Работа трансформатора в режиме нагрузки, превышающей 1,5 номинального тока, помимо обмоток может ограничиваться некоторыми другими частями трансформатора, такими как вводы, концевые кабельные

соединения, устройства переключения ответвлений обмоток и соединения. Причиной ограничения работы трансформатора может быть также расширение и давление масла.

Допустимые перегрузки, рассчитанные для обмоток, не должны ограничиваться нагрузочными характеристиками комплектующих трансформатор изделий.

1.5.4 Трансформаторы внутренней установки

Если трансформаторы предназначены для внутренней установки, необходимо к значению номинального превышения температуры масла в верхних слоях внести поправку на окружающую среду. Такое дополнительное увеличение превышения температуры следует определять в основном при испытаниях трансформаторов (см. п. 2.7.6).

1.5.5 Воздействия внешних факторов

Ветер, солнце и дождь могут в определенной степени влиять на нагрузочную способность распределительных трансформаторов, но поскольку воздействие этих факторов нерегулярно, учитывать их нецелесообразно.

1.6 Специальные ограничения для трансформаторов средней мощности

1.6.1 Ограничения номинального режима

В настоящем пункте рассматриваются трехфазные трансформаторы номинальной мощностью не более 100 МВ·А, на которые распространяются ограничения по сопротивлению короткого замыкания, приведенные в 1.3.2.

1.6.2 Ограничения тока и температуры

Не следует превышать приведенные в таблице 1 предельные значения тока нагрузки, температуры наиболее нагретой точки обмоток, температуры масла в верхних слоях и температуры металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом. Кроме того, следует иметь в виду, что при температуре наиболее нагретой точки, превышающей 140-160 °С, возможно выделение пузырьков газа, снижающих электрическую прочность изоляции трансформатора (см. 1.4.1.2. Опасность кратковременных воздействий).

1.6.3 Другие части трансформатора и присоединенное оборудование

Кроме обмоток, работа трансформатора в режиме нагрузки, превышающей 1,5 номинального тока, может ограничиваться также возможностями других частей трансформатора, таких как вводы, концевые кабельные соединения, устройства переключения ответвлений и соединения. Причиной ограничения работы трансформатора может быть также расширение и давление масла. Следует учитывать и характеристики такого присоединенного оборудования, как кабели, выключатели, трансформаторы тока и т.д.

Допустимые перегрузки, рассчитанные для обмоток, не должны ограничиваться нагрузочными характеристиками комплектующих трансформатор изделий.

1.6.4 Требования к стойкости при коротком замыкании

Во время работы в условиях нагрузки, превышающей номинальную, или непосредственно после такой работы трансформаторы могут не удовлетворять требованиям ГОСТ 11677 к термической стойкости при коротком замыкании, допускающем длительность токов короткого замыкания 2с. Однако в большинстве случаев в условиях эксплуатации длительность тока короткого замыкания меньше 2с.

1.6.5 Ограничения напряжения

Если нет других ограничений для регулирования напряжения с изменяемым потоком (ГОСТ 11677), то прикладываемое напряжение не должно превышать 1,05 номинального напряжения (основное ответвление) или напряжения ответвления (другие ответвления) на любой обмотке трансформатора.

1.7 Специальные ограничения для трансформаторов большой мощности

1.7.1 Общие положения

Для трансформаторов большой мощности следует учитывать дополнительные ограничения, связанные, в основном, с сильными потоками рассеяния. В связи с этим целесообразно указывать при заказе трансформатора или по запросу нагрузочную способность трансформаторов специального назначения (см. приложение С).

Метод расчета термического износа изоляции для всех трансформаторов одинаков. Однако рекомендуется выполнять машинный расчет по фактическим тепловым характеристикам каждого индивидуально рассматриваемого трансформатора, а не использовать данные таблиц допустимых нагрузок, приведенных в разделе 3.

Существующий уровень знаний, требования высокой надежности трансформаторов большой мощности, связанные с последствиями их повреждения, а также приведенные ниже положения обуславливают более консервативный и более индивидуальный подход к рекомендациям для этих трансформаторов, чем для трансформаторов меньшей мощности:

а) сочетание потока рассеяния и главного намагничивающего потока в стержнях или ярмах магнитной системы обуславливает значительную подверженность трансформаторов большой мощности перевозбуждениям, особенно в условиях перегрузки;

б) последствия ухудшения механических свойств изоляции под воздействием температуры и времени, включая износ, вызванный тепловым расширением, для трансформаторов большой мощности могут быть более значительными;

в) температура наиболее нагретой точки обмоток не может быть определена при обычном испытании на нагрев. Даже если при таком испытании номинальным током не появляются никаких отклонений от нормы, сделать заключение о последствиях при более высоких токах нельзя, эта экстраполяция не учитывается при конструировании трансформаторов;

г) рассчитанные по результатам испытаний на нагрев номинальным током значения превышения температуры наиболее нагретой точки обмоток для токов, превышающих номинальный, для трансформаторов большой мощности могут быть менее достоверными.

1.7.2 Ограничения тока и температуры

Не следует превышать приведенные в таблице 1 предельные значения тока нагрузки, температуры наиболее нагретой точки обмоток, температуры масла в верхних слоях и температуры металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом. Кроме того, следует иметь в виду, что при температуре наиболее нагретой точки, превышающей 140-160 °С, возможно выделение пузырьков газа, снижающих электрическую прочность изоляции трансформатора (см. 1.4.1.2. Опасность кратковременных воздействий).

1.7.3 Другие части трансформатора и присоединенное оборудование

По 1.6.3

1.7.4 Требования к стойкости при коротком замыкании

По 1.6.4

1.7.5 Ограничения напряжения

По 1.6.5

2 РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ

2.1 Условные обозначения

2.1.1 Основные условные обозначения

A - амплитуда годового изменения среднесуточной температуры охлаждающей среды, °С;

B - амплитуда суточного изменения, °С;

DX - самый жаркий день в году;

H - коэффициент температуры наиболее нагретой точки;

I - ток нагрузки, А;

K - коэффициент нагрузки (отношение тока нагрузки к номинальному току);

L - относительный износ за определенный период времени;

R - отношение нагрузочных потерь при номинальном токе к потерям холостого хода;

S - номинальная мощность, МВ·А;

TX - самое жаркое время суток;

V - относительная скорость износа;

W - количество стержней остова;

g - разность температур обмотки и масла, °С;

j - месяц года (используется при расчете износа и температуры наиболее нагретой точки на целый год);

t - продолжительность нагрузки на прямоугольном графике нагрузки;

z - сопротивление короткого замыкания, %;

θ - температура, °С;

τ - тепловая постоянная времени;

ON - обозначает виды охлаждения *ONAN* или *ONAF*,

OF - обозначает виды охлаждения *OFAF* или *OFWF*,

OD - обозначает виды охлаждения *ODAF* или *ODWE*.

2.1.2 Приставки

Δ - превышение температуры (по отношению к температуре охлаждающей среды).

2.1.3 Показатели степени

x - показатель степени суммарных потерь при расчете превышения температуры масла;

y - показатель степени коэффициента нагрузки при расчете превышения температуры обмотки;

ϵ - относится к температуре наиболее нагретой точки для вида охлаждения *OD*.

2.1.4 Индексы (общие)

E - соответствует эквивалентной температуре охлаждающей среды;

M - соответствует температуре охлаждающей среды при расчете наиболее нагретой точки;

W - соответствует обмотке;

a - соответствует охлаждающему воздуху (температуре);

h - соответствует наиболее нагретой точке (температуре);

m - соответствует коэффициенту, используемому при расчете максимальной температуры наиболее нагретой точки;

o - соответствует маслу;

r - обозначает номинальное значение (если применяется, то всегда ставится последним);

t - соответствует температуре или превышению температуры в момент времени t ,

y - соответствует ежегодному значению.

2.1.5 Специальные индексы для температуры масла (если применяется один из этих индексов, то всегда ставится первым)

i - масло внутри обмоток, в верхних слоях;

lm - средняя температура масла в обмотках;

b - масло в нижней части бака, обмотки или охладителя;

o - масло в верхней части бака;

om - средняя температура масла в баке;

e - масло в верхней части теплообменника;

em - средняя температура в теплообменнике;

bt - температура масла в нижней части бака в момент времени t ,

bi - начальная температура масла в нижней части бака;

bu - максимальная температура масла в нижней части бака.

2.2 Непосредственное измерение температуры наиболее нагретой точки

Наиболее значительным ограничением перегрузки трансформатора является температура наиболее нагретой точки обмотки: необходимо стремиться к тому, чтобы с возможно большей точностью определять эту температуру. В настоящее время начинают постепенно выполнять непосредственное ее измерение (оптическими волоконными светопроводами с датчиками или другими приборами аналогичного назначения). Такие измерения должны улучшить оценку температуры наиболее нагретой точки по сравнению с методами расчета, приведенными в п. 2.4.

2.3 Расчетные тепловые характеристики

2.3.1 Принятые упрощения

Следует иметь в виду, что формулы, приведенные в настоящем стандарте, основаны на ряде упрощений. Приведенная на рисунке 1 схема распределения температуры является упрощением более сложной действительной картины распределения температуры. Итак, приняты следующие упрощения:

а) температура масла внутри обмоток повышается линейно от нижней части к верхней независимо от вида охлаждения;

б) превышение температуры проводника увеличивается линейно по высоте обмотки и параллельно превышению температуры масла с постоянной разностью g между двумя прямыми линиями (g - разность между превышением средней температуры, измеренной методом сопротивления, и превышением средней температуры масла);

в) превышение температуры наиболее нагретой точки должно быть выше превышения температуры проводника в верхней части обмотки, как показано на рисунке 1, поскольку необходимо учесть увеличение дополнительных потерь. Для учета этих нелинейностей за разность температур наиболее нагретой точки и масла в верхней части обмотки принято обозначение Hg . Коэффициент H может иметь значения от 1,1 до 1,5 в зависимости от мощности трансформатора, сопротивления короткого замыкания и конструкции обмотки. При построении графиков и составлении таблиц раздела 3 настоящего стандарта для распределительных трансформаторов использовано значение 1,1, для трансформаторов средней и большой мощности - 1,3.

2.3.2 Температура масла в верхних слоях, измеренная во время испытания, отличается от температуры масла, вытекающего из обмотки. Эта разность особенно заметна в течение неустановившегося режима в результате внезапного появления нагрузки большой амплитуды. Фактически масло в верхних слоях представляет собой смесь различных потоков масла, которые циркулируют вдоль и (или) снаружи разных обмоток.

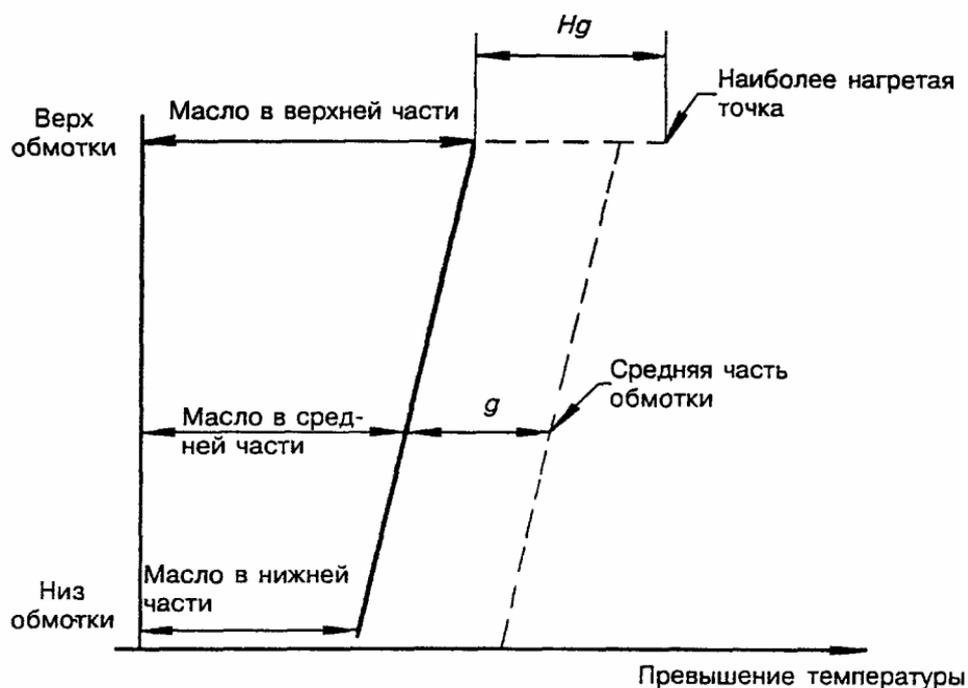


Рисунок 1 - Схема распределения температуры

Разность между главными обмотками при охлаждении *ON* обычно незначительна. Для любой обмотки за температуру масла на выходе из обмотки принимается температура смеси масла в верхней части бака.

За температуру масла на выходе из обмотки при видах охлаждения *OF* и *OD* принимается температура масла в нижней части обмоток плюс удвоенная разность средней температуры масла в средней части рассматриваемой обмотки и температуры масла в нижней части обмотки.

В силу различий в распределении потоков масла разные виды охлаждения следует рассматривать отдельно. Предполагается, что в трансформаторах с охлаждением *ON* и *OF* циркуляция масла в обмотке осуществляется термосифоном, а в трансформаторах с охлаждением *OD* - в основном насосом и практически не зависит от градиента температуры масла.

2.3.3 В трансформаторах с видами охлаждения *OF* и *OD* (среднюю температуру масла следует определять наилучшим из известных методов, так как от этого непосредственно зависит расчет температуры наиболее нагретой точки. В ГОСТ 3484.2 приведен ряд методов определения значения, используемого только при расчете некоторых поправок на превышение средней температуры обмотки. В настоящем стандарте использован в основном альтернативный метод (см. приложение В) определения средней температуры масла по результатам испытаний.

2.3.4 Поскольку тепловая постоянная времени обмоток обычно небольшая (от 5 до 10 мин), она оказывает на температуру наиболее нагретой точки только ограниченное влияние даже при повышенных кратковременных перегрузках. Продолжительность самой кратковременной перегрузки по таблицам допустимых нагрузок настоящего стандарта равна 30 мин (раздел 3); при расчетах значение тепловой постоянной времени принимают равным нулю.

2.3.5 Для расчета превышения температуры наиболее нагретой точки в постоянном, циклическом или другом режиме можно использовать тепловые характеристики, полученные из различных источников:

а) результатов специальных испытаний на нагрев, в том числе и непосредственных измерений температуры наиболее нагретой точки или температуры масла на выходе из обмоток (при отсутствии непосредственного измерения наиболее нагретой точки коэффициент наиболее нагретой точки *N* может быть сообщен только изготовителем);

б) результатов обычного испытания на нагрев;

в) значений превышения температуры при номинальном токе.

В таблице 2 приведены тепловые характеристики, которые использовались при составлении таблиц допустимых нагрузок раздела 3 настоящего стандарта. Следует отметить, что если для трансформаторов большой мощности превышение средней температуры обмотки при номинальном токе равно 65 °С для видов охлаждения *ON* и *OF* и 70 °С - для вида охлаждения *OD*, то в зависимости от конструкции трансформатора превышение температуры наиболее нагретой точки при номинальном токе может составлять более 78 °С.

Таблица 2 Тепловые характеристики, используемые при составлении таблиц нагрузок раздела 3

Показатель	-	Трансформаторы			
		распределительные	средней и большой мощности		
			ONAN	ON	OF
Показатель степени масла	x	0,8	0,9	1,0	1,0
Показатель степени обмотки	y	1,6	1,6	1,6	2,0
Отношение потерь	R	5	6	6	6
Коэффициент температуры наиболее нагретой точки	H	1,1	1,3	1,3	1,3
Тепловая постоянная времени масла	τ_0 , ч	3,0	2,5	1,5	1,5
Температура охлаждающей среды	θ_a , °C	20	20	20	20
Превышение температуры наиболее нагретой точки	$\Delta\theta_{hr}$, °C	78	78	78	78
Превышение средней температуры обмотки	$\Delta\theta_{wr}$, °C	65	63	63	68
Градиент температуры наиболее нагретой точки (масло на выходе из обмотки)	H_{qr} , °C	23	26	22	29
Превышение средней температуры масла	$\Delta\theta_{imr}$, °C	44	43	46	46
Превышение температуры масла на выходе из обмотки	$\Delta\theta_{irs}$, °C	55	52	56	49
Превышение температуры масла в нижней части обмотки	$\Delta\theta_{br}$, °C	33	34	36	43

¹⁾ Для видов охлаждения ON значения $\Delta\theta_{ir}$ принимают равным $\Delta\theta_{or}$

2.4 Расчет температуры в установившемся тепловом режиме

2.4.1 Вид охлаждения ON

Для вида охлаждения ON максимальная температура наиболее нагретой точки при любой нагрузке K равна сумме температуры охлаждающей среды, превышения температуры масла в верхних слоях и разности температур наиболее нагретой точки и масла в верхних слоях

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{br} \left[\frac{1 + RK^2}{1 + R} \right] + H_{qr} K^y \quad (1)$$

2.4.2 Вид охлаждения OF

Для вида охлаждения OF метод расчета основан на температуре масла в нижней и средней частях обмотки и средней температуре масла, как указано в 2.3.2. Таким образом, максимальная температура наиболее нагретой точки при любой нагрузке K равна сумме температуры охлаждающей среды, превышения температуры масла в нижней части обмотки, разности температур масла на выходе из обмотки и в нижней части, а также разности температур наиболее нагретой точки и масла на выходе из обмотки

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{br} \left[\frac{1 + RK^2}{1 + R} \right] + 2[\Delta\theta_{imr} - \Delta\theta_{br}] K^y + H_{qr} K^y \quad (2)$$

2.4.3 Вид охлаждения OD

Для вида охлаждения OD метод расчета, в основном, такой же, как и для вида охлаждения OF, за исключением того, что к значению θ_h , добавляется поправка на изменение омического сопротивления обмоток от температуры

$$\theta'_h = \theta_h + 0,15(\theta_h - \theta_{hr}) \quad (\text{при } K > 1) \quad (3)$$

где θ_h рассчитывают по формуле (2) без учета влияния изменений омического сопротивления;

θ_{hr} - температура наиболее нагретой точки при номинальной нагрузке. Для получения более точных результатов следует обращаться за консультацией к изготовителю.

2.4.4 Поправки к формулам расчета

При расчете максимальной температуры наиболее нагретой точки по приведенным выше формулам теоретически возможно вводить различные поправки, например, на изменение в зависимости от температуры:

- нагрузочных потерь;
- отношения омических потерь и потерь на вихревые токи в обмотке;
- вязкости масла.

Для видов охлаждения ON и OF изменение вязкости при изменении температуры компенсируется изменением сопротивления обмоток. В настоящем стандарте эти два явления не принимаются во внимание.

Для вида охлаждения *OD* влияние вязкости масла на превышение температуры незначительно. Следует учитывать изменение омического сопротивления, например, введением поправки в формулу (3).

2.5 Расчет температуры в неустановившемся тепловом режиме

Любое изменение режимов нагрузки рассматривается как ступенчатая функция. Прямоугольный график нагрузки, используемый при составлении таблиц раздела 3 настоящего стандарта, состоит из одной ступени, направленной вверх, и через некоторое время одной ступени, направленной вниз. Для непрерывно изменяющейся нагрузки ступенчатая функция применяется к меньшим интервалам времени, а для расчета температуры наиболее нагретой точки требуется программа машинного расчета (см. 2.8).

Превышение температуры масла (например, в нижней части) в конце интервала времени t определяют по формуле

$$\Delta\theta_{bt} = \Delta\theta_{bi} + (\Delta\theta_{bu} - \Delta\theta_{bi}) (1 - e^{-t/\tau_0})$$

где $\Delta\theta_{bi}$ - начальное превышение температуры масла в нижней части;

$\Delta\theta_{bu}$ - установившееся превышение температуры масла в нижней части при нагрузке, прикладываемой в течение этого интервала времени;

τ_0 - постоянная времени масла.

При любом изменении нагрузки разность температур обмотки и масла изменяется и достигает нового значения с характерной постоянной времени обмотки. В соответствии с причинами, приведенными в 2.3.4, эта постоянная не принимается в расчет. Принимается, что значение коэффициента нагрузки K^y в последнем выражении формулы (1) и двух последних выражениях формулы (2) мгновенно достигает нового значения.

2.6 Термический износ изоляции трансформатора

2.6.1 Закон термического износа

Кроме всех других воздействий, которыми можно было бы пренебречь, изоляция подвергается термохимическому износу. Этот процесс является кумулятивным и приводит к недопустимому ее состоянию по некоторым критериям. Согласно закону Аррениуса, период времени до достижения этого состояния в зависимости от скорости химической реакции выражается формулой

$$\text{Срок службы} = e^{(\alpha+\beta/T)}, \quad (5)$$

где α и β - постоянные;

T - абсолютная температура.

Для ограничения диапазона температуры можно пользоваться более простым экспоненциальным отношением Монтсингер

$$\text{Срок службы} = e^{-\rho\theta}, \quad (6)$$

где ρ - постоянная;

θ - температура, °С.

Примечание. В настоящем стандарте используется отношение Монтсингер, которое, по приведенному выше определению, является упрощением основного, используемого в других руководствах по нагрузке, закона Аррениуса относительно термохимического износа. Для рассматриваемого в настоящем стандарте диапазона температур использование отношения Монтсингер считается достаточным и, в сущности, дает оценку термического износа с запасом прочности.

Пока не существует единственного и простого критерия окончания срока службы, который мог бы быть использован для количественной оценки полезного срока службы изоляции трансформатора, однако можно сделать сравнения, основанные на скорости износа изоляции. Это величина, обратная сроку службы, выражаемая отношением Монтсингер

$$\text{Скорость износа} = \text{постоянная} \times e^{-\rho\theta}.$$

Значение постоянной в этом уравнении зависит от многих факторов: первоначального состава целлюлозных продуктов (смесь исходных материалов, химические добавки) и параметров окружающей среды (содержание влаги, свободного кислорода в системе).

Однако независимо от этих изменений в интервале температуры от 80 до 140 °С, соответствующей реальным условиям, коэффициентом изменения температуры допускается принимать постоянное значение ρ . При определении его значения учитывают тот факт, что скорость износа удваивается при каждом изменении температуры приблизительно на 6 °С; такое значение принято в настоящем стандарте.

Скорость износа определяется температурой наиболее нагретой точки. Для трансформаторов, соответствующих требованиям ГОСТ 11677, эталонное значение этой величины при номинальной нагрузке к нормальной температуре охлаждающей среды принимается равным 98 °С. В настоящем стандарте относительная скорость износа при этой температуре принимается равной единице.

Во многих трансформаторах применяется термически высококачественная изоляция. Поскольку в ГОСТ 3484.2 этот вид изоляции для масляных трансформаторов не рассматривается, то допустимые пределы

превышения температуры, обусловленные улучшением термической стойкости изоляции, устанавливаются по согласованию между изготовителем и потребителем. В большинстве случаев трансформаторы с такой изоляцией имеют нормальный предполагаемый срок службы при базовой температуре наиболее нагретой точки 110 °С.

2.6.2 Относительная скорость термического износа изоляции

Для трансформаторов, отвечающих требованиям ГОСТ 11677, относительная скорость термического износа изоляции принята равной единице для температуры наиболее нагретой точки 98 °С, что соответствует работе трансформатора при температуре охлаждающей среды 20 °С и превышению температуры наиболее нагретой точки 78 °С. Относительная скорость износа определяется по формуле

$$V = \frac{\text{скорость износа при } \theta_h}{\text{скорость износа при } 98^\circ\text{C}} = 2^{(\theta_h - 98)/6}. \quad (7)$$

Из данных, приведенных ниже, следует, что эта формула содержит значительную зависимость относительной скорости износа изоляции от температуры наиболее нагретой точки:

θ_h	Относительная скорость износа изоляции
80	0,125
86	0,25
92	0,5
98	1,0
104	2,0
110	4,0
116	8,0
122	16,0
128	32,0
134	64,0
140	128,0

2.6.3 Расчет сокращения срока службы

Сокращение срока службы, вызванное месячной, суточной или часовой нагрузкой при температуре наиболее нагретой точки 98 °С, выражается «нормальными» месяцем, сутками или часами.

Если нагрузка и температура охлаждающей среды постоянны в течение определенного периода времени, то относительное сокращение срока службы равно Vt , где t - рассматриваемый период времени. То же самое относится к постоянному режиму нагрузки при изменяющейся температуре охлаждающей среды, если при этом используется базовое значение температуры охлаждающей среды (см. 2.7).

Обычно, когда изменяется режим нагрузки и температура охлаждающей среды, относительная скорость сокращения срока службы изменяется во времени. Относительный износ изоляции (или относительное сокращение срока службы) в течение определенного периода времени составит

$$L = \frac{1}{t} \int_{t_1}^t V dt, \text{ или } L = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V_n \quad (8)$$

где n - порядковый номер интервала времени;

N - общее количество равных интервалов времени.

2.7 Температура охлаждающей среды

2.7.1 Общие положения

Для трансформаторов наружной установки с воздушным охлаждением за температуру охлаждающей среды принимается действительная температура воздуха. Для распределительных трансформаторов внутренней установки поправка на температуру охлаждающей среды приведена в 2.7.6. Для трансформаторов с водяным охлаждением за температуру охлаждающей среды принимается температура воды на входе в теплообменник, которая во времени изменяется меньше, чем температура воздуха.

При перегрузке продолжительностью более нескольких часов следует учитывать изменение температуры охлаждающей среды. По желанию потребителя эти изменения можно учитывать при помощи одного из следующих методов:

а) использовать для расчета термического износа изоляции эквивалентную температуру охлаждающей среды; для расчета максимальной температуры наиболее нагретой точки использовать эквивалентную температуру охлаждающей среды и среднее значение месячных максимумов (2.7.2 и 2.7.5);

б) допускается непосредственно использовать кривую изменения фактической температуры (2.7.4);

в) допускается получить приблизительное значение изменяющейся температуры охлаждающей среды при помощи двойной синусоидальной функции (2.7.5).

2.7.2 Эквивалентная температура охлаждающей среды θ_E

Если температура охлаждающей среды заметно изменяется при перегрузках, в тепловом расчете следует использовать ее эквивалентное значение, так как оно будет больше среднеарифметического значения.

Эквивалентная температура охлаждающей среды - это условно постоянная температура, которая в течение рассматриваемого периода времени вызывает такой же износ изоляции, как и изменяющаяся температура охлаждающей среды за такой же промежуток времени (сутки, месяц или год).

Если с увеличением температуры на 6 °С скорость износа изоляции удваивается и можно предположить, что изменение температуры охлаждающей среды происходит по синусоидальной форме, то эквивалентную температуру охлаждающей среды определяют по формуле

$$\theta_E = \bar{\theta} + 0,01(\Delta\bar{\theta})^{1,85}, \quad (9)$$

где $\bar{\theta}$ - средняя температура;

$\Delta\bar{\theta}$ - отклонение температуры за рассматриваемый период (разность средних значений максимума и минимума).

Поправочный коэффициент на среднюю температуру может быть также определен по кривой, изображенной на рисунке 2, который является иллюстрацией приведенной выше формулы.

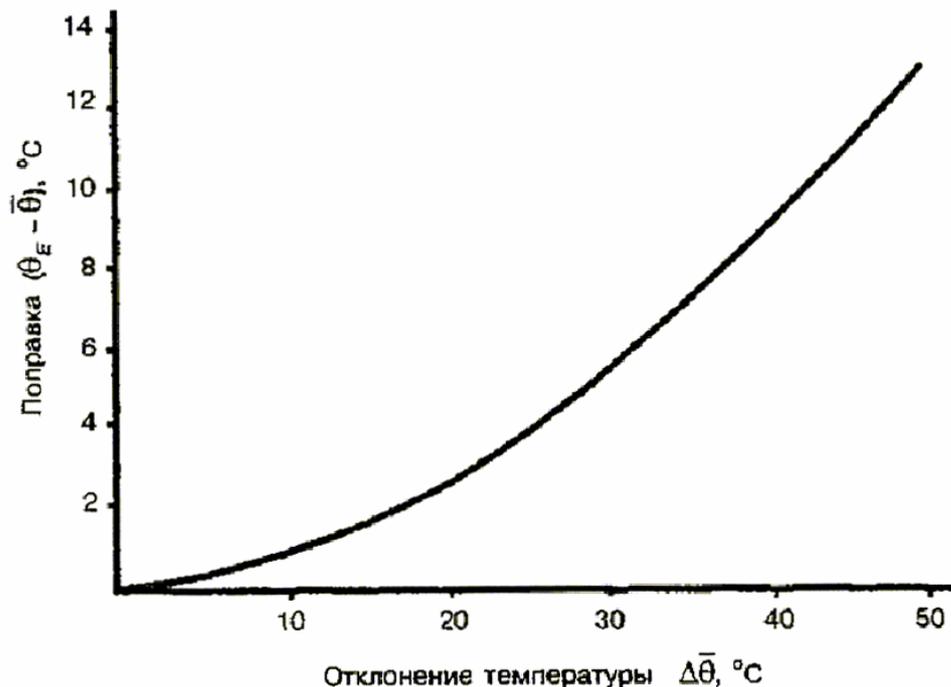


Рисунок 2 - Поправка на среднюю температуру для получения эквивалентной температуры

2.7.3 Температура охлаждающей среды для расчета наиболее нагретой точки θ_m

Эквивалентная температура охлаждающей среды может быть использована для расчета термического износа изоляции, но не может быть использована для контроля максимальной температуры наиболее нагретой точки в период перегрузки. Для такого контроля рекомендуется принимать среднее значение месячных максимумов. Использование абсолютного максимума не считается целесообразным вследствие малой вероятности его появления и влияния тепловой постоянной времени.

2.7.4 Непрерывно изменяющаяся температура охлаждающей среды

Если расчеты износа изоляции и температуры наиболее нагретой точки производятся для нагрузки продолжительностью, превышающей номинальное значение на несколько суток, то использование предусмотренной на этот период реальной кривой изменения температуры может быть более приемлемым. В таком случае кривая изменения температуры охлаждающей среды должна быть представлена рядом отдельных значений, соответствующих интервалу времени, выбранному для определения изменения нагрузки.

2.7.5 Синусоидальное изменение температуры охлаждающей среды

Для вычислений, проводимых на многие сутки или месяцы наперед, более удобно рассматривать температуру охлаждающей среды, представляемую двумя синусоидальными функциями (первая характеризует годовое, вторая - суточное изменение температуры)

$$\theta_a = \theta_{ay} + A \cos \frac{2\pi}{365} (\text{сутки} - DX) + (B \text{ или } B_m) \cos \frac{2\pi}{24} (\text{час} - TX) \quad (10)$$

где θ_{ay} - среднегодовая температура охлаждающей среды, °С;

A - амплитуда годового изменения среднесуточной температуры охлаждающей среды, °С;

B - амплитуда суточного изменения для расчета скорости износа изоляции, °С;

B_m - амплитуда суточного изменения для расчета максимальной температуры наиболее нагретой точки, °С;

$ДХ$ - самый жаркий день в году;

$ТХ$ - самое жаркое время суток;

$сутки$ - порядковый номер суток с начала года (например, 1 февраля = 32);

$час$ - время суток (например, 13 ч 15 мин = 13,25).

Расчет этих параметров производят по отдельной программе, приведенной в приложении Д, введением четырех типичных значений температур для каждого месяца года.

2.7.6 Поправка на температуру охлаждающей среды для трансформаторов внутренней установки

Трансформатор, предназначенный для установки в помещении, подвергается дополнительному перегреву, значение которого составляет около половины значения превышения температуры воздуха в этом помещении. Испытания показали, что дополнительный перегрев масла в верхних слоях изменяется под действием тока нагрузки приблизительно так же, как изменяется превышение температуры в верхних слоях.

Для трансформаторов, установленных в металлическом или бетонном помещении, можно использовать формулу (1), заменив $\Delta\theta_{or}$ на $\Delta\theta'_{or}$:

$$\Delta\theta'_{or} = \theta_{or} + \Delta(\Delta\theta'_{or}),$$

где $\Delta(\Delta\theta'_{or})$ - дополнительный перегрев масла в верхних слоях при номинальной нагрузке. Этот дополнительный перегрев рекомендуют определять во время испытаний, однако если результаты таких испытаний отсутствуют, допускается в качестве справочных использовать значения, приведенные в таблице 3. Приблизительное значение дополнительного перегрева масла в верхних слоях получают делением значений, приведенных в таблице 3, на два.

Таблица 3 - Поправки на температуру охлаждающей среды для трансформаторов внутренней установки

Вид помещения	Количество установленных трансформаторов в	Поправка (добавляется к эквивалентной температуре охлаждающей среды), °С			
		номинальная мощность трансформатора, кВ·А			
		250	500	750	1000
Подземные камеры с естественной вентиляцией	1	11	12	n	14
	2	12	13	14	16
	3	14	17	19	22
Подвальные этажи и сооружения с незначительной естественной вентиляцией	1	7	8	9	10
	2	8	9	10	12
	3	10	13	15	17
Сооружения с хорошей естественной вентиляцией, подземные камеры и подвальные этажи с принудительной вентиляцией	1	3	4	5	6
	2	4	5	6	7
	3	6	9	10	13
Трансформаторные киоски (см. примечание 2)	1	10	15	20	-
Примечания					
1. Приведенные выше значения температурных поправок были рассчитаны для типичных режимов нагрузки подстанций с использованием характерных значений потерь в трансформаторах. Поправки получены в результате проведения серии испытаний с естественным и принудительным охлаждением в подземных камерах и закрытых подстанциях, а также в результате выборочных измерений, проводимых на подстанциях и в трансформаторных киосках.					
2. Если испытание на нагрев было проведено на трансформаторе, установленном в киоске, как на едином собранном устройстве, внесение поправки на температуру внутри киоска не требуется.					

2.8 Программа машинного расчета

2.8.1 Логическая схема

Расчет коэффициентов нагрузки применительно к данному трансформатору при заданном графике нагрузки с учетом изменения температуры охлаждающей среды, заданного ограничения температуры наиболее нагретой точки и износа производится методом итерации, при выполнении которого необходимо использование компьютера. Логическая схема такого метода итерации, включающая основные принципы, установленные настоящим стандартом, показана на рисунке 3.

Подобный метод итерации используется при выборе проектировщиком номинальных значений параметров для новых трансформаторов, если известны режимы нагрузки и температура охлаждающей среды.

Программа должна быть составлена таким образом, чтобы потребитель смог ввести исходные тепловые характеристики трансформатора, график нагрузки на заданный период, характер изменения температуры охлаждающей среды на этот период, а также необходимые, по его мнению, специальные ограничения температуры и износа.

Максимальную температуру наиболее нагретой точки и относительный износ рассчитывают для заданного графика нагрузки. Если максимальная температура не превышена и износ ниже принятого предельного значения, расчет повторяют при увеличенном значении множителя F , применяемого к каждой отдельной нагрузке K_1, K_2, \dots, K_n через постоянные интервалы времени t_1, t_2, \dots, t_n . Множитель F повышают ступенями на 1 % для каждой итерации до тех пор, пока не будет достигнут один из пределов. Если при начальном расчете относительный износ больше принятого значения, расчет повторяют, используя уменьшенное до 2 % значение F .

Увеличение на множитель нагрузки и допуски на предельную температуру могут быть выбраны по-разному, в зависимости от типа трансформатора и параметров нагрузки. Составителю программы следует учитывать, что при температуре наиболее нагретой точки в пределах от 100 до 140 °С с увеличением коэффициента нагрузки на 2 % максимальная температура наиболее нагретой точки увеличивается более чем на 2 °С, а относительный износ приблизительно на 25 %.

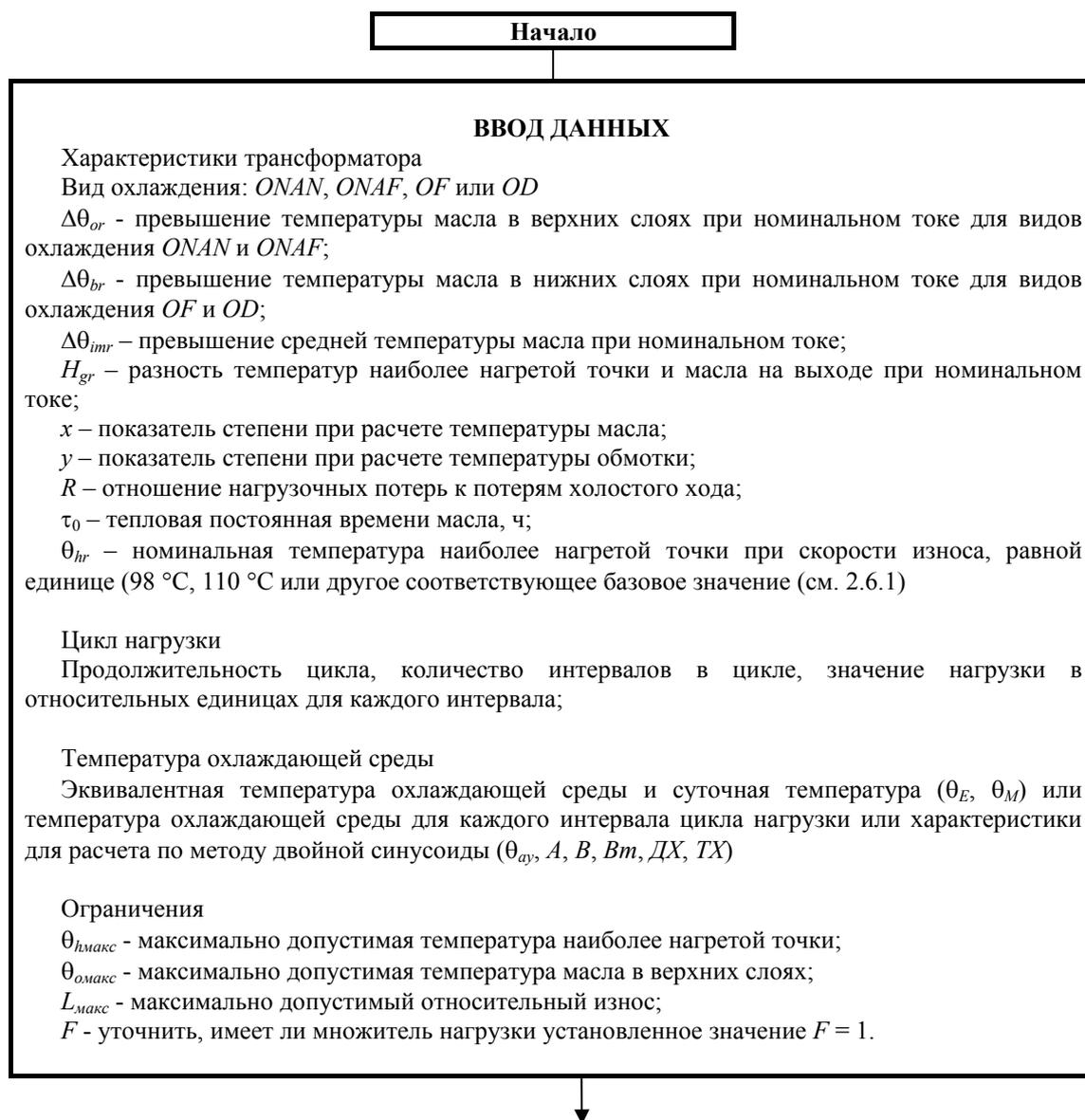
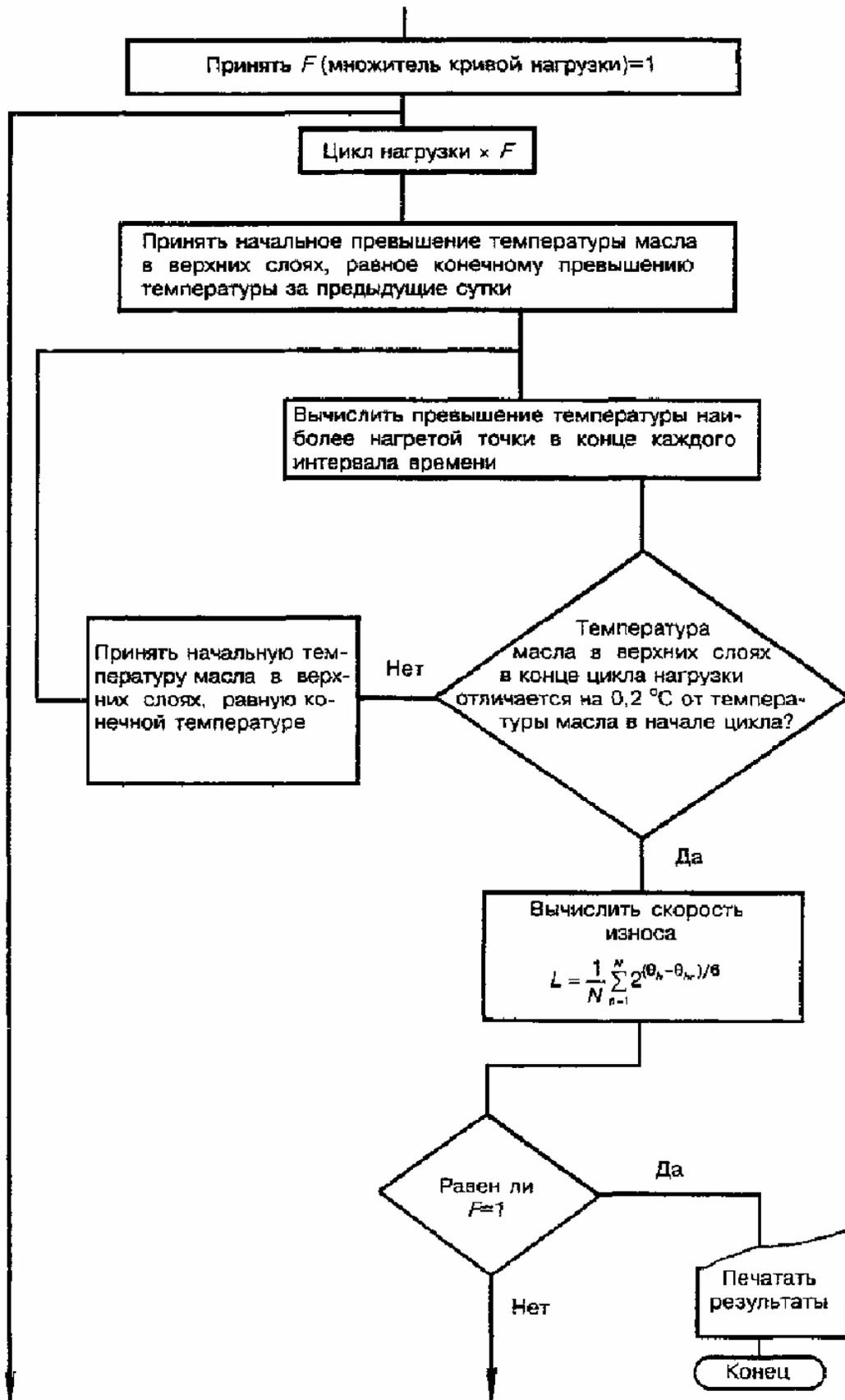


Рисунок 3 - Логическая схема программы машинного расчета коэффициента допустимой нагрузки



Продолжение рисунка 3

При расчете может быть использован не только метод итерации, но и другие альтернативные методы, если они дают аналогичные результаты.

2.8.2 Примеры расчета

Для того, чтобы показать диапазон значений входных и выходных данных и дать возможность потребителю проверить свою программу, в таблицах 4 и 5 приведены примеры расчета.

В первом примере (таблица 4) приведен простой расчет нагрузки за одни сутки с постоянной температурой охлаждающей среды и простым графиком нагрузки.

Второй пример (таблица 5) является расчетом нагрузки за целый год с тремя различными графиками нагрузки в течение года и температурой охлаждающей среды, представленной двойной синусоидальной функцией.

Таблица 4 - Данные для расчета нагрузки за одни сутки при постоянной эквивалентной температуре охлаждающей среды

*** Ввод (1) *** Номинальные характеристики и данные трансформатора
категория трансформатора: распределительный;
вид охлаждения: *ONAN*

$\Delta\theta_{or}$	- превышение температуры масла в верхних слоях, °C	55,00
$\Delta\theta_{imr}$	- превышение средней температуры масла, °C	44,00
H_{qr}	- разность температур наиболее нагретой точки и масла в верхних слоях, °C	23,00
x	- показатель степени при расчете температуры масла	0,80
y	- показатель степени при расчете температуры обмотки	1,60
R	- отношение нагрузочных потерь к потерям холостого хода	5,00
τ_0	- тепловая постоянная времени масла, ч	3,00
θ_{hr}	- температура наиболее нагретой точки нормального износа, °C	98,00

*** Ввод (2) *** Заданный график нагрузки

	Начало	Конец	Продолжительность, ч	Нагрузка, отн. ед.
1	0:00	12:00	12,00	0,70
2	12:00	14:00	2,00	1,340
3	14:00	24:00	10,00	0,700

*** Ввод (3) *** Данные температуры охлаждающей среды

θ_E	- эквивалентная температура охлаждающей среды, °C	30,00
$\theta_{амакс}$	- максимальная суточная температура, °C	40,00

*** Ввод (4) *** Ограничения по температуре и нагрузке

$\theta_{омакс}$	- предельная температура масла в верхних слоях, °C	115,00
$\theta_{hмакс}$	- предельная температура наиболее нагретой точки, °C	140,00
$L_{макс}$	- предельный относительный износ	1,00
F	- множитель кривой нагрузки (постоянная или изменяющаяся величина)	ПОСТОЯННАЯ

*** Вывод ***

Температура масла в верхних слоях, макс, °C	Температура наиболее нагретой точки, макс, °C	Относительный износ за сутки, отн. ед.
98,35	135,08	0,935
	Температура масла в верхних слоях, °C	Температура наиболее нагретой точки, °C
1	75,34	88,34
2	98,35	135,08
3	76,15	89,15

Таблица 5 - Данные для расчета нагрузки на полный год при температуре охлаждающей среды, определяемой методом двух синусоид, и по трем различным графикам нагрузки

*** Ввод (1) *** Номинальные характеристики и данные трансформатора
 категория трансформатора: распределительный;
 вид охлаждения: *ONAN*

$\Delta\theta_{or}$	- превышение температуры масла в верхних слоях, °С	55,00
$\Delta\theta_{imr}$	- превышение средней температуры масла, °С	44,00
H_{qr}	- разность температур наиболее нагретой точки и масла в верхних слоях, °С	23,00
x	- показатель степени при расчете температуры масла	0,80
y	- показатель степени при расчете температуры обмотки	1,60
R	- отношение нагрузочных потерь к потерям холостого хода	5,00
τ_0	- тепловая постоянная времени масла, ч	3,00
θ_{hr}	- температура наиболее нагретой точки нормального износа, °С	98,00

*** Ввод (2) *** Заданный график нагрузки

Период 1	1/1	17/4*	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ (в сутках):	107
	Начало	Конец	Продолжительность, ч	Нагрузка, отн. ед.
1	0:00	8:00	8,00	0,700
2	8:00	11:00	3,00	1,000
3	11:00	14:00	3,00	0,800
4	14:00	16:00	2,00	1,360
5	16:00	19:30	3,50	0,850
6	19:30	24:00	4,50	0,700
Период 2	18/4	17/10	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ (в сутках):	183
	Начало	Конец	Продолжительность, ч	Нагрузка, отн. ед.
1	0:00	10:00	10,00	0,700
2	10:00	13:00	3,00	1,000
3	13:00	15:00	2,00	1,360
4	15:00	20:00	5,00	0,900
5	20:00	24:00	4,00	0,700
Период 3	18/10	31/12	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ (в сутках):	75
	Начало	Конец	Продолжительность, ч	Нагрузка, отн. ед.
1	0:00	8:00	8,00	0,700
2	8:00	11:00	3,00	1,000
3	11:00	14:00	3,00	0,800
4	14:00	16:00	2,00	1,360
5	16:00	19:30	3,50	0,850
6	19:30	24:00	4,50	0,700

17/4* - 17 апреля

*** Ввод (3) *** Данные температуры охлаждающей среды

θ_{ai}	- среднегодовая температура охлаждающей среды, °С	11,47
A	- амплитуда годового изменения, °С	8,05
B	- амплитуда суточного изменения при расчете износа, °С	5,10
B_m	- амплитуда суточного изменения при расчете максимальной температуры, °С	11,15
DX	- самый жаркий день в году	199
TX	- самое жаркое время дня	14:00

*** Ввод (4) *** Ограничения температуры и нагрузки

$\theta_{\text{макс}}$	- предельная температура масла в верхних слоях, °С	115,00
$\theta_{\text{нмакс}}$	- предельная температура наиболее нагретой точки, °С	140,00
$L_{\text{макс}}$	- предельный относительный износ, отн. Ед.	1,00
F	- множитель кривой нагрузки (постоянная или изменяющаяся величина)	ПОСТОЯННАЯ

*** Вывод ***

Период	Начало	Конец	Температура масла в верхних слоях, макс, °С	Температура наиболее нагретой точки, макс, °С	Относительный износ, отн. ед.
1	1/1	17/4	84,77	122,39	0,237
2	18/4	17/10	96,20	133,82	1,160
3	18/10	31/12	84,84	122,46	0,266

Относительный износ за год $L = 0,706$ отн. ед.

Период 1	Температура масла в верхних слоях, °С	Температура наиболее нагретой точки, °С
1	46,89	59,89
2	67,28	90,28
3	66,52	82,61
4	84,77	122,39
5	63,29	81,03
6	40,12	53,12

Относительный износ за период $L(1) = 0,237$ отн. ед.

Период 2	Температура масла в верхних слоях, °С	Температура наиболее нагретой точки, °С
1	60,72	73,72
2	78,40	101,40
3	96,20	133,82
4	70,78	90,21
5	49,13	62,13

Относительный износ за период $L(2) = 1,160$ отн. ед.

Период 3	Температура масла в верхних слоях, °С	Температура наиболее нагретой точки, °С
1	46,96	59,96
2	67,34	90,34
3	66,59	82,68
4	84,84	122,46
5	63,36	81,10
6	40,19	53,19

Относительный износ за период $L(3) = 0,266$ отн. ед.

3 ТАБЛИЦЫ ДОПУСТИМЫХ НАГРУЗОК

3.1 Ограничения, принятые в таблицах допустимых нагрузок

В настоящей части приведены допустимые режимы нагрузок различных типов трансформаторов. Данные таблиц и рисунков 3.2-3.4 рассчитаны по формулам, приведенным в 2.4-2.6, и с использованием тепловых характеристик трансформатора (таблица 2).

Не следует ожидать высокой точности от кривых на рисунках и данных таблиц из-за принятых необходимых допущений:

а) суточное изменение нагрузки представлено упрощенным и двухступенчатым графиком (рисунок 4);

б) используемые при расчете тепловые характеристики (указанные в таблице 2) могут не соответствовать характеристикам рассматриваемого трансформатора;

в) температура охлаждающей среды за всю продолжительность графика нагрузки (24 ч) принимается постоянной;

г) нецелесообразно учитывать при расчете поправочный коэффициент на изменение сопротивления обмоток от температуры (2.4.3) в таблицах, в которых значения не зависят от температуры охлаждающей среды. Вместо него для трансформаторов с охлаждением *OD* этот поправочный коэффициент заменен следующим

$$\Delta\theta'_h = \Delta\theta_h + 0,15(\Delta\theta_h - \Delta\theta_{hr}) \quad (12)$$

Потребителям настоятельно рекомендуется делать свои собственные расчеты на основе более точных тепловых характеристик и использовать более реальный график нагрузки.

3.2 Метод преобразования реальных суточных графиков нагрузки в эквивалентные им суточные двухступенчатые прямоугольные графики

3.2.1 О пользовании руководством

Для того, чтобы пользоваться рисунками и таблицами, приведенными в 1.4 и 3.5, необходимо преобразовать суточный график нагрузки в упрощенный двухступенчатый в соответствии с рисунком 4. K_1 и K_2 - ступени нагрузки, где K_2 - максимум нагрузки. Продолжительность максимума нагрузки - t часов. Методы определения этой продолжительности для прямоугольного графика нагрузки зависят от некоторых факторов; в 3.2.2, 3.2.3 и 3.2.4 приведены рекомендуемые методы для различных видов реальных графиков нагрузки.

Если эквивалентность двухступенчатого графика нагрузки вызывает сомнение, следует сделать несколько допущений и принять график с наибольшим запасом.

Пример упрощенного применения руководства по нагрузке силовых масляных трансформаторов приведено в приложении Е.

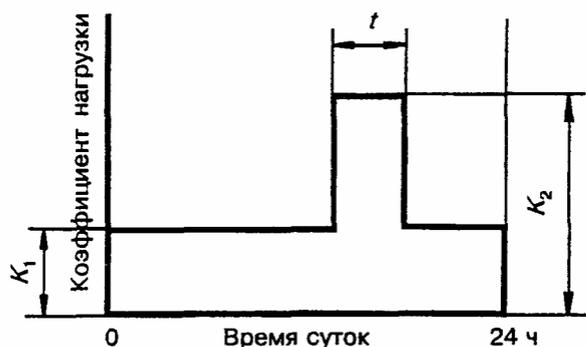


Рисунок 4 - Эквивалентный двухступенчатый график нагрузки

3.2.2 График нагрузки с одним максимумом

В этом случае значение t следует определять, как показано на рисунке 5.

Для участка графика нагрузки без максимума значение K_1 определяют как среднее значение нагрузки без максимума.

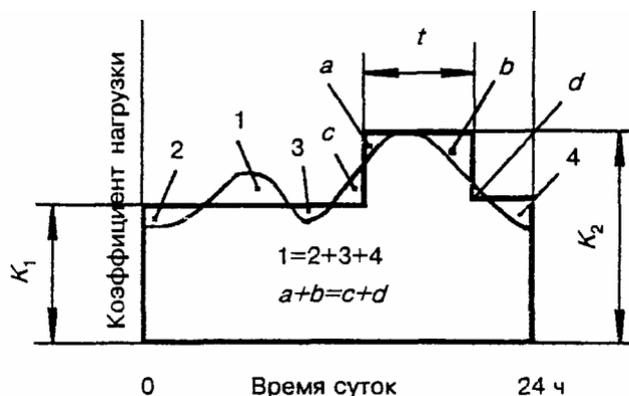


Рисунок 5 - График нагрузки с одним максимумом

3.2.3 График нагрузки с двумя максимумами равной амплитуды, но различной продолжительности

При двух максимумах примерно равной амплитуды, но различной продолжительности значение t определяют для максимума большей продолжительности, а значение K_I должно соответствовать среднему значению оставшейся нагрузки.

Пример графика нагрузки представлен на рисунке 6.

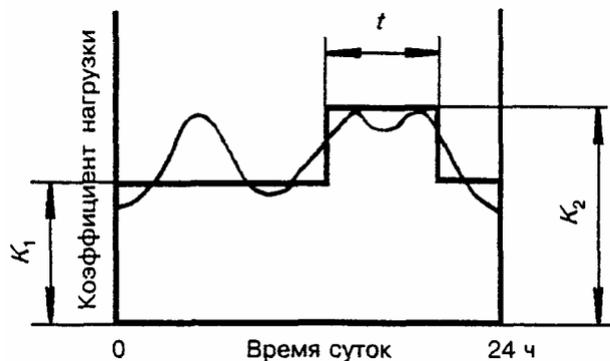


Рисунок 6 - График нагрузки с двумя максимумами равной амплитуды и различной продолжительности

3.2.4 График нагрузки с последовательными максимумами

Если график нагрузки состоит из нескольких последовательных максимумов, значение t принимают достаточной продолжительности, чтобы охватить все максимумы, а значение K_I должно соответствовать среднему значению оставшейся нагрузки, как показано на рисунке 7.

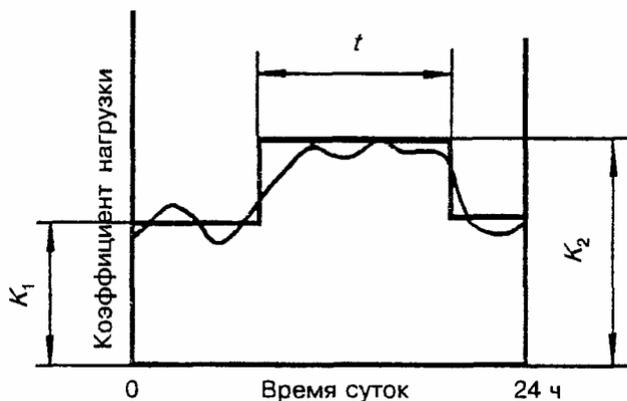


Рисунок 7 - График нагрузки с последовательными максимумами

3.3 Нормальный продолжительный режим нагрузки

Если ток нагрузки в течение некоторого времени значительно не изменяется, допускается использовать постоянный эквивалентный ток нагрузки. Значения приемлемого коэффициента нагрузки $K = K_{24}$ для продолжительного режима при различных температурах охлаждающей среды приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Допустимый коэффициент нагрузки для продолжительного режима K_{24} при различных температурах охлаждающей среды (охлаждение *ONAN*, *ON*, *OF* и *OD*)

Температура охлаждающей среды, °С	Превышение температуры наиболее нагретой точки, °С	Трансформаторы			
		распределительные	средней и большой мощности		
			ONAN	ON	OF
-25	123	1,37	1,33	1,31	1,24
-20	118	1,33	1,30	1,28	1,22
-10	108	1,25	1,22	1,21	1,17
0	98	1,17	1,15	1,14	1,11
10	88	1,09	1,08	1,08	1,06
20	78	1,00	1,00	1,00	1,00
30	68	0,91	0,92	0,92	0,94
40	58	0,81	0,82	0,83	0,87

3.4 Нормальные режимы систематических нагрузок

На рисунках, помещенных ниже, приведены сведения для четырех категорий трансформаторов и восьми значений температуры охлаждающей среды:

- распределительные трансформаторы с охлаждением *ONAN* - рисунок 9;
- трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *ON* - рисунок 10;
- трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OF* - рисунок 11;
- трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OD* - рисунок 12

Если температура охлаждающей среды находится в интервале между двумя значениями, следует выбрать ближайшее большее значение или проинтерполировать между двумя наиболее близкими значениями.

По графикам нагрузки можно определить допустимую перегрузку K_2 при заданных продолжительности t перегрузки и начальной нагрузке K_1 .

Эти графики нагрузки можно также использовать для выбора номинальной мощности трансформатора (с нормальным сроком службы) для заданного прямоугольного графика нагрузки, выраженного отношением K_2/K_1 принимая, что прикладываемые напряжения остаются постоянными. Для этого достаточно найти точку пересечения кривой, соответствующей продолжительности перегрузки K_2 с прямой постоянного наклона K_2/K_1 . Эту прямую определяют так: на оси ординат откладывают точки $K_2 = 1$, на оси абсцисс - $K_1 = 1$, затем соединяют их (см. приведенный ниже пример 2 и соответствующий рисунок 8).

Пример 1. Распределительный трансформатор мощностью 2 МВ·А с охлаждением *ONAN*, начальная нагрузка 1 МВ·А. Определить допустимую нагрузку продолжительностью 2 ч при температуре охлаждающей среды 20 °С, принимая напряжение неизменным

$$\theta_a = 20 \text{ °С}; K_1 = 0,5; t = 2 \text{ ч}$$

На рисунке 9 $K_2 = 1,56$, однако в стандарте приведено предельное значение 1,5. Следовательно, допустимая нагрузка продолжительностью 2 ч равна 3 МВ·А (затем снижается до 1 МВ·А).

Пример 2. Распределительный трансформатор с охлаждением *ONAN* должен эксплуатироваться каждый день с нагрузкой 1750 кВ·А в течение 8 ч и с нагрузкой 1000 кВ·А в течение остальных 16 ч при $\theta_a = 20 \text{ °С}$

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{1750}{1000} = 1,75.$$

По графику, приведенному на рисунке 9, по прямой $t = 8$ и по отношению $K_1/K_2 = 1,75$ находят значения $K_2 = 1,15$ и $K_1 = 0,66$ (см. рисунок 8). Отсюда номинальная мощность трансформатора составляет

$$S_r = \frac{1750}{1000} = \frac{1000}{0,66} = 152 \text{ кВ·А}$$

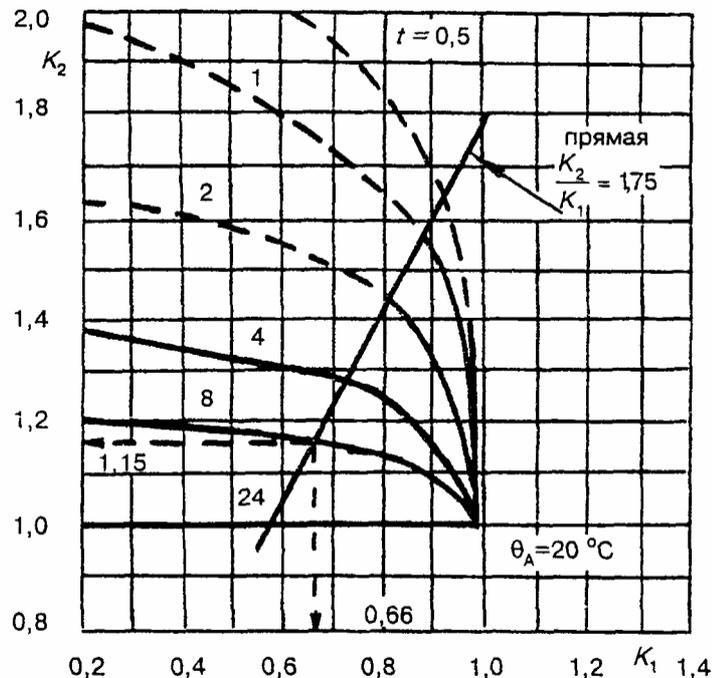


Рисунок 8 - Иллюстрация примера 2

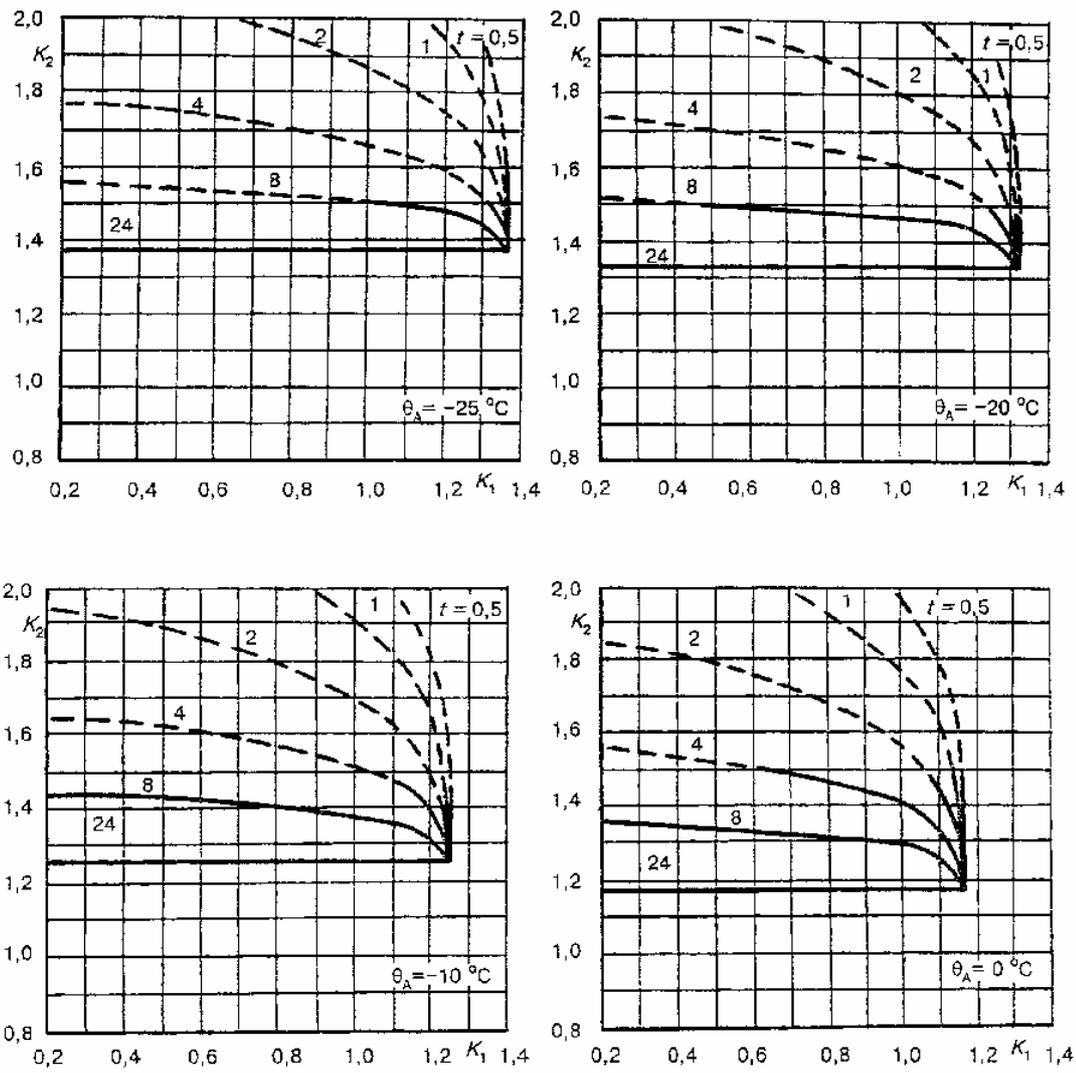
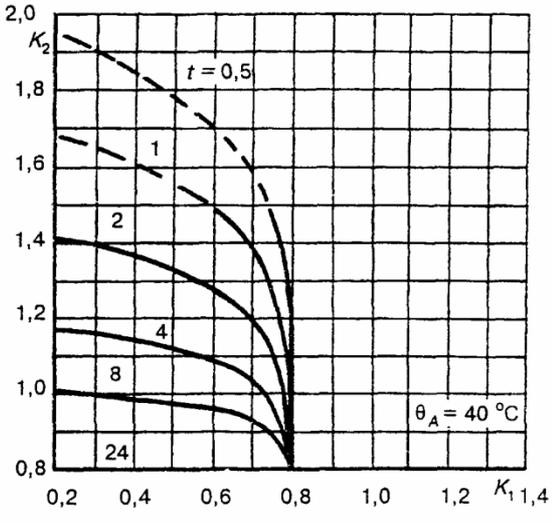
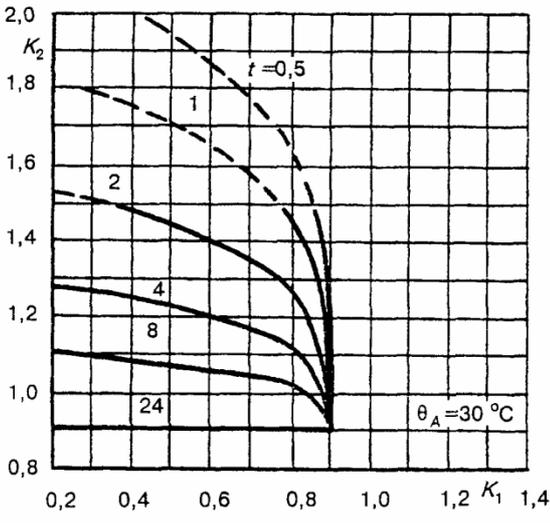
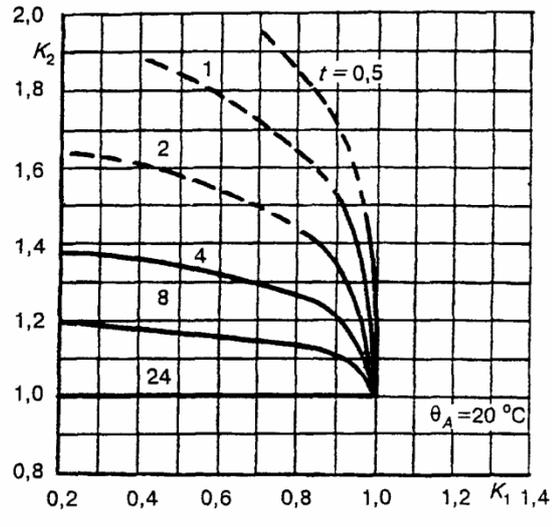
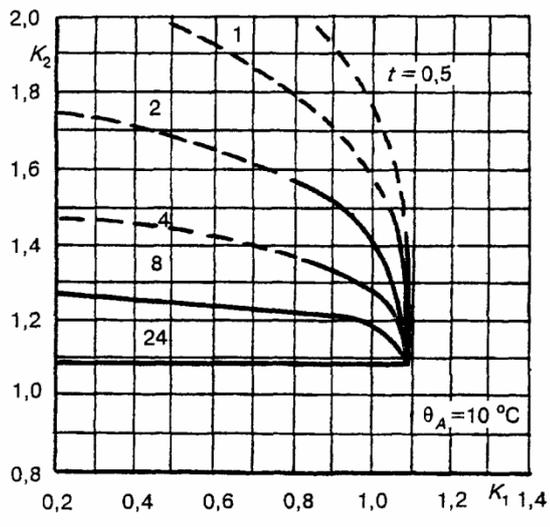


Рисунок 9 - Распределительные трансформаторы с охлаждением *ONAN*
 Допустимые режимы нагрузки с нормальным сокращением срока службы



Окончание рисунка 9

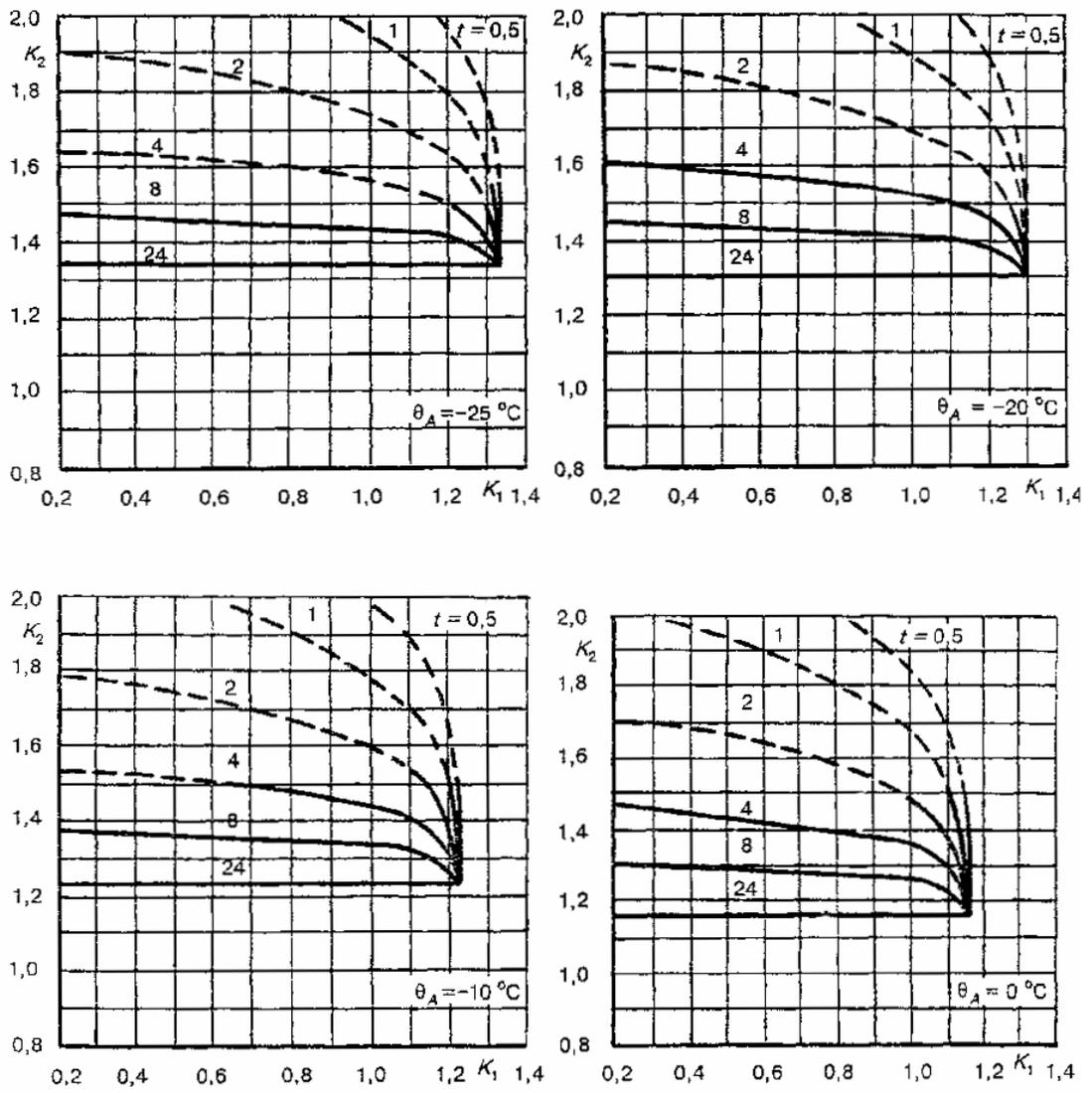
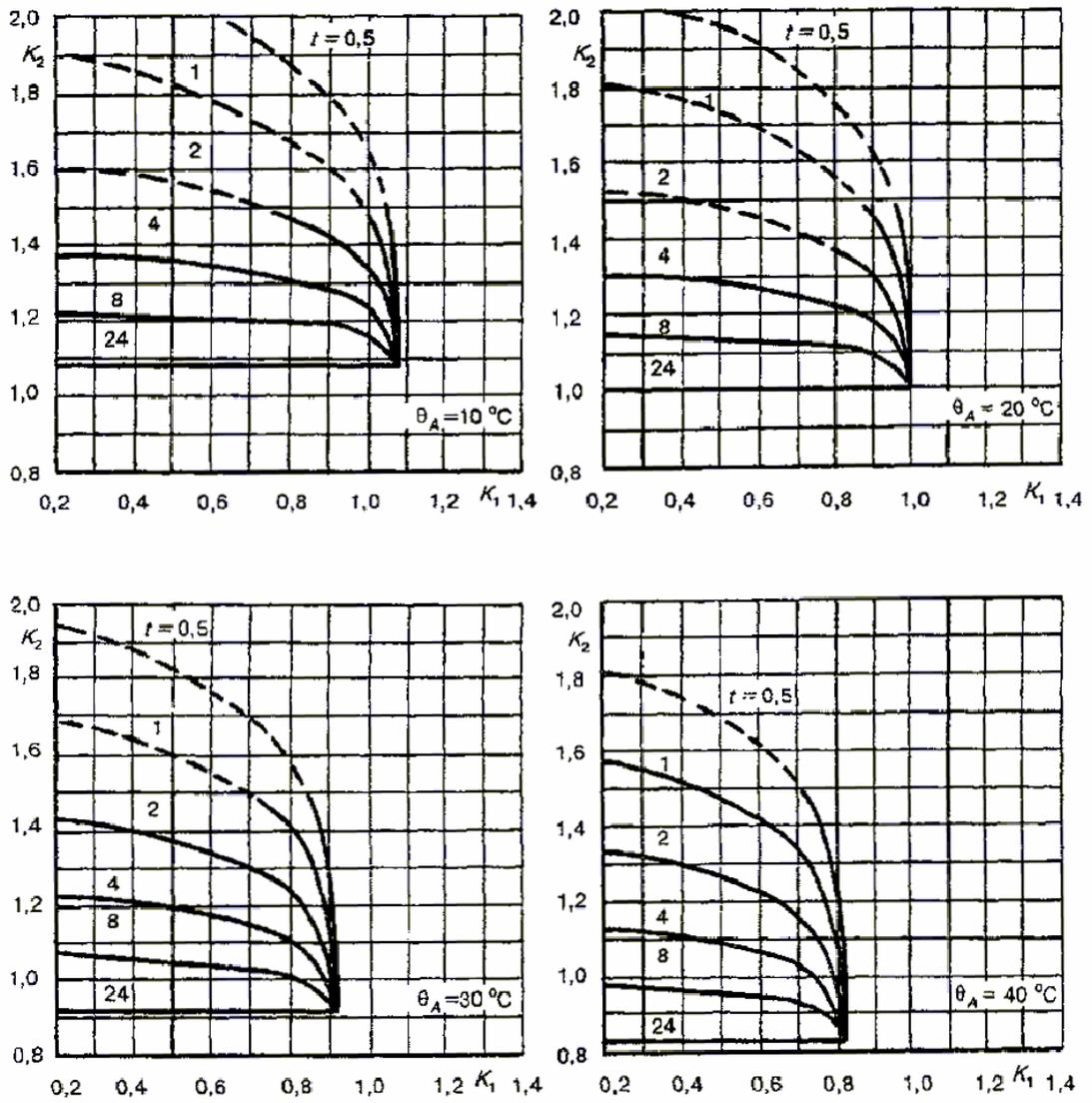


Рисунок 10 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *ON*.
 Допустимые режимы нагрузки с нормальным сокращением срока службы



Окончание рисунка 10

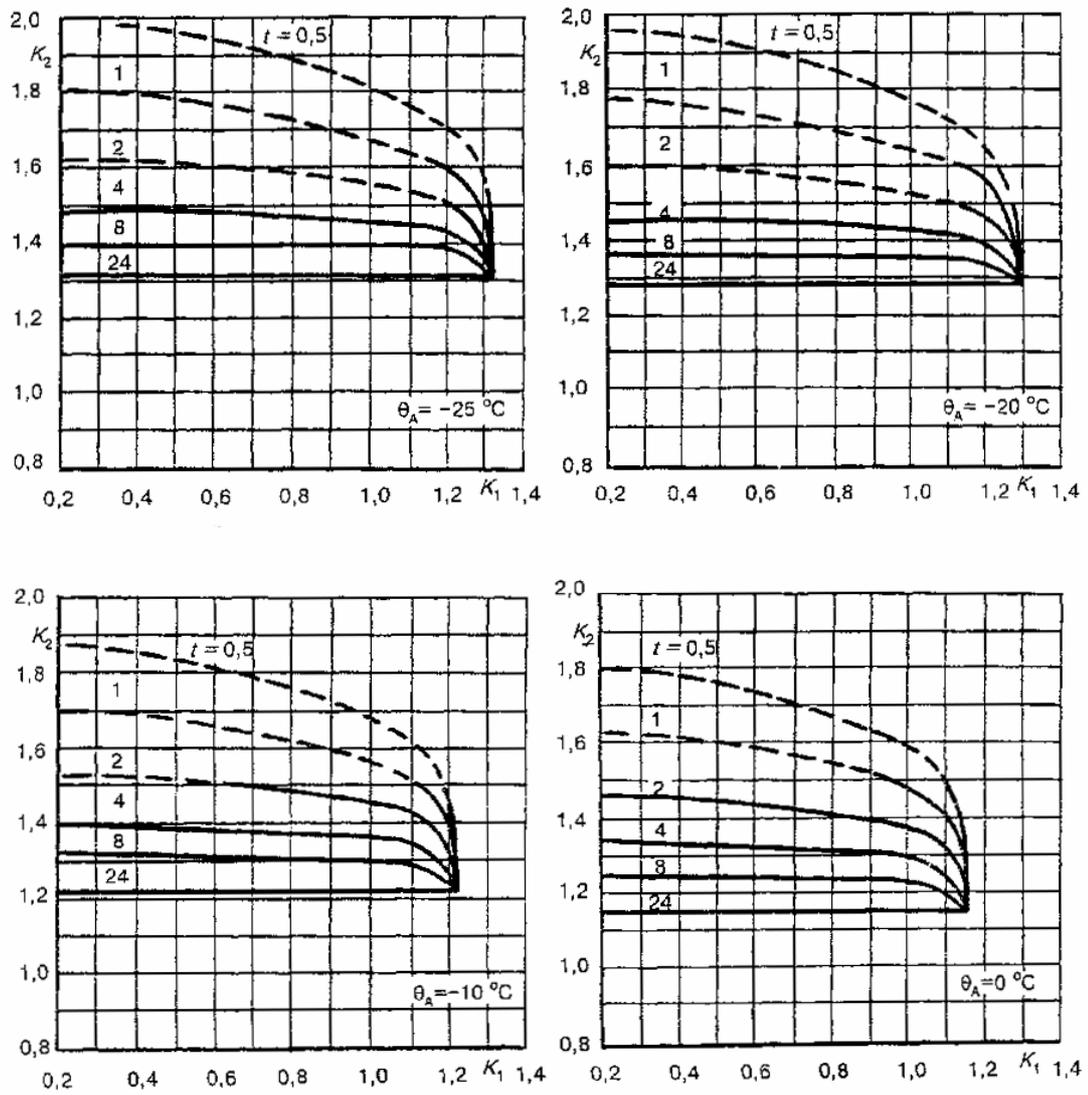
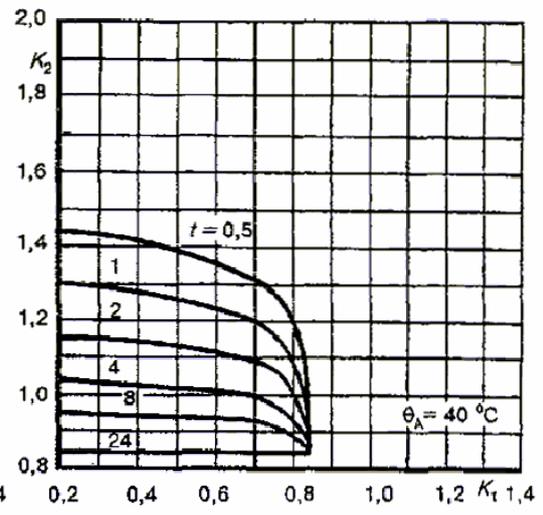
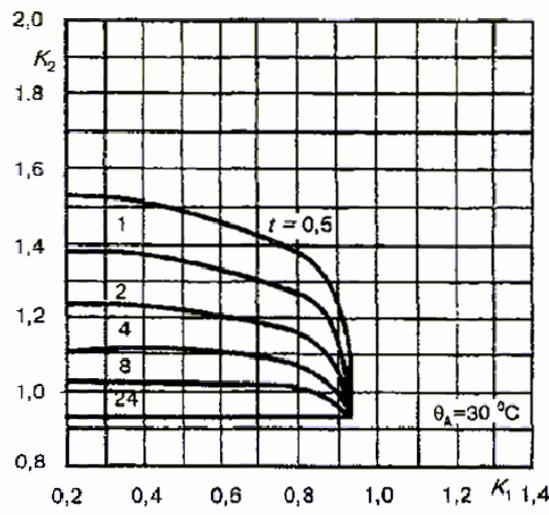
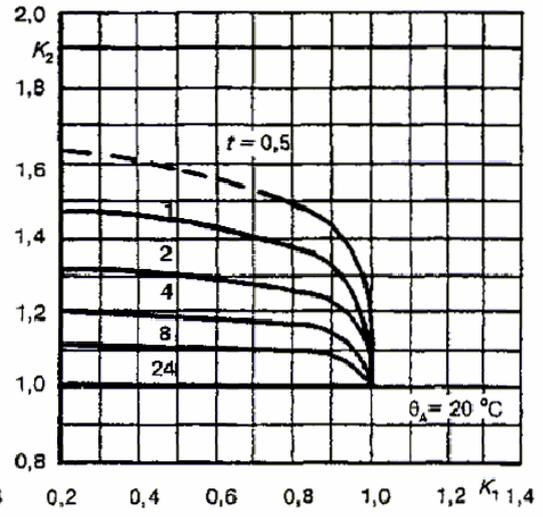
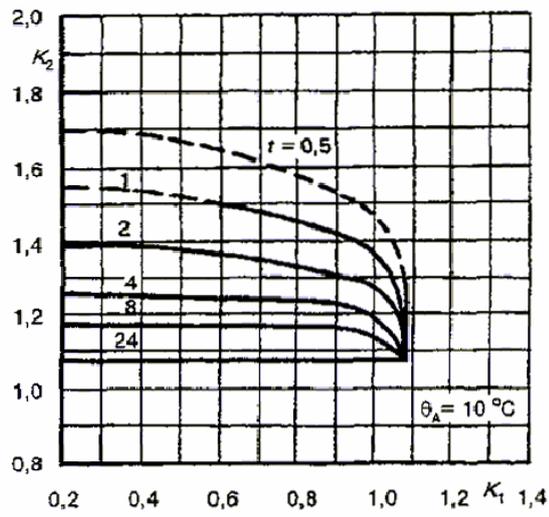


Рисунок 11 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OF*.
Допустимые режимы нагрузки с нормальным сокращением срока службы



Окончание рисунка 11

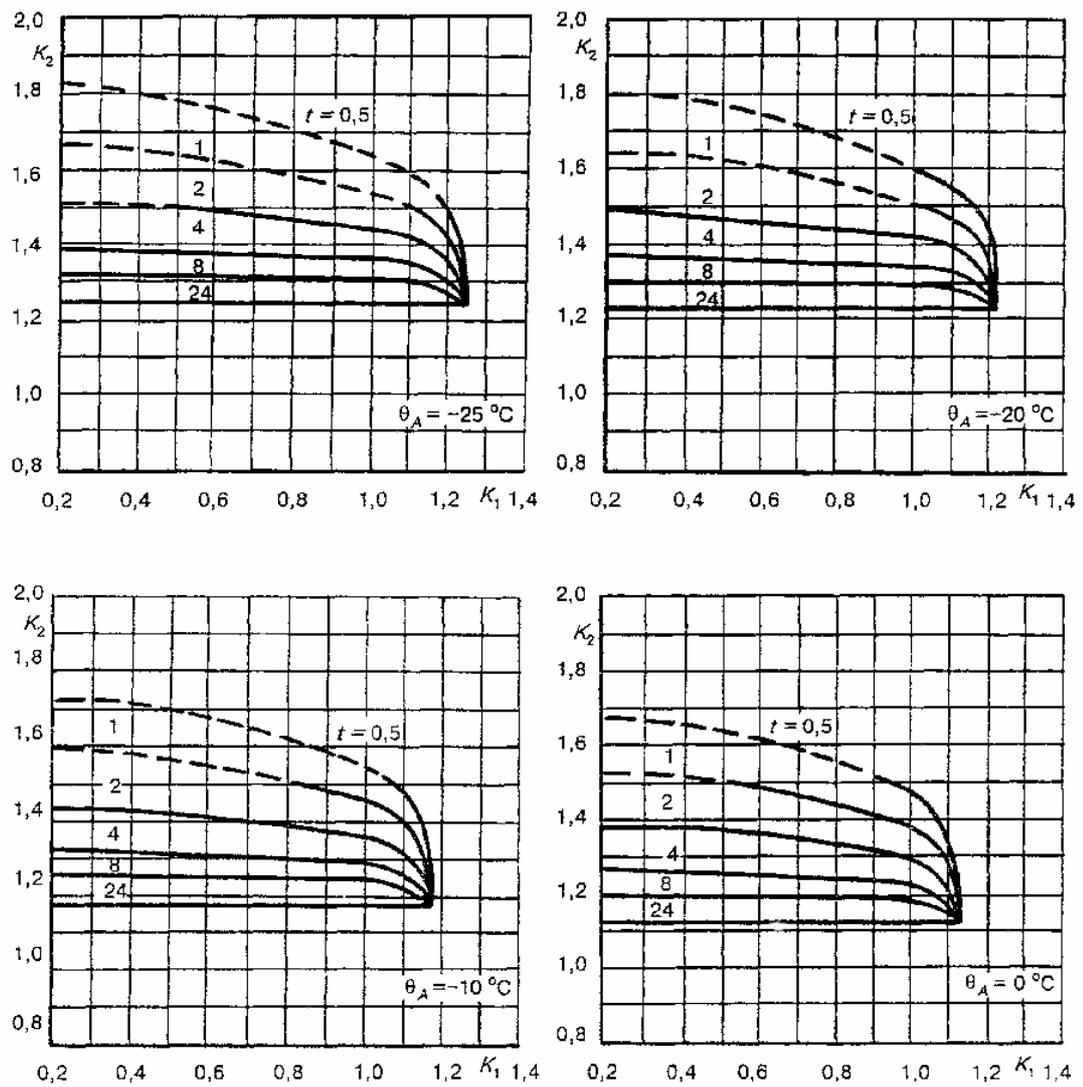
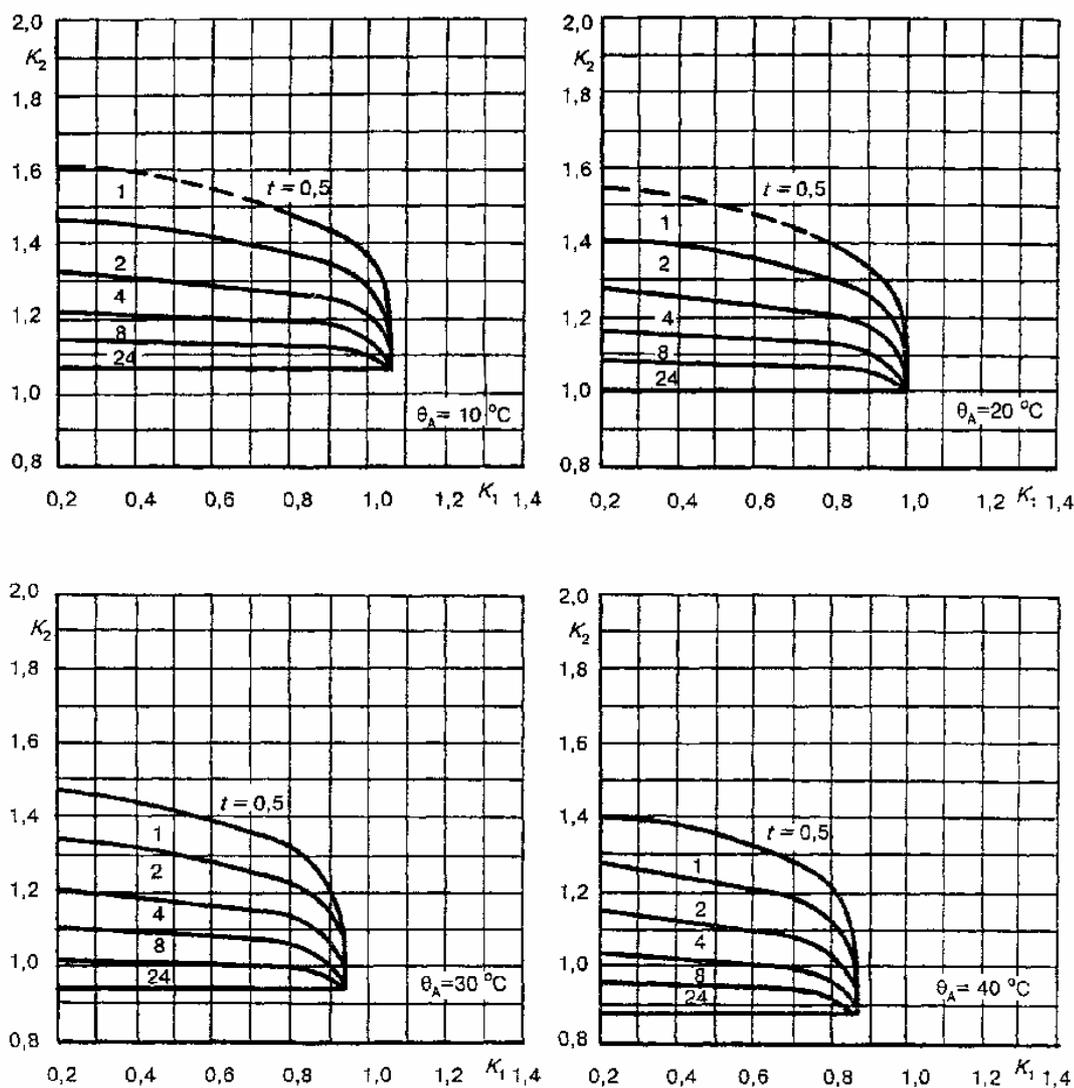


Рисунок 12 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OD*
 Допустимые режимы нагрузки с нормальным сокращением срока службы



Окончание рисунка 12

3.5 Режим аварийных перегрузок

Приведенные ниже таблицы предназначены для информирования потребителя о перегрузках, которые может выдержать трансформатор без превышения предельного значения температуры наиболее нагретой точки обмотки (таблица 1), а также о сокращении срока службы, вызываемом этими перегрузками, если тепловые характеристики трансформатора соответствуют приведенным в таблице 2. В 24 таблицах приведены значения для трансформаторов четырех категорий и шести значений t (от 0,5 до 24 ч):

- распределительные трансформаторы с охлаждением *ONAN* - таблицы 7-12;
- трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *ON* - таблицы 13-18;
- трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OF* - таблицы 19-24;
- трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OD* - таблицы 25-30.

С помощью этих таблиц можно проверить графики допустимых режимов нагрузки при различных значениях K_1 и K_2 для данной температуры охлаждающей среды и определить для данного случая сокращение срока службы (выражается в «нормальных» сутках, т. е. в эквивалентных сутках работы при номинальной мощности и температуре охлаждающей среды 20°C).

Температура и суточное сокращение срока службы для этих аварийных режимов рассчитывались на основе циклического режима. Если реальная ситуация требует только односуточного аварийного режима, которому предшествуют и за которым следуют сутки с более низкой нагрузкой, то рассчитанные значения сокращения срока службы будут больше фактических и, таким образом, будут содержать определенный запас по износу.

Относительное сокращение срока службы приводится в таблицах с точностью до трех знаков. Такая точность может показаться неоправданной, но это облегчает построение графиков и выполнение интерполяции при условии, что полученные значения будут округлены по окончании расчетов.

Пример 1. Определить сокращение срока службы за сутки и температуру наиболее нагретой точки трансформатора средней мощности, работающего в следующих условиях:

Охлаждение OF, $K_1 = 0,8$; $K_2 = 1,3$; $t = 8$ ч; $\theta_a = 30$ °С.

По данным таблицы 23 $V = 31,8$; $\Delta\theta_h = 121$ °С для температуры охлаждающей среды 20 °С. Учитывая, что фактическая температура охлаждающей среды равна 30 °С, находим

$$L = 31,8 \times 3,2 = 101,8 \text{ «нормальных» суток;}$$

$$\theta_h = 121 + 30 = 151 \text{ °С.}$$

Температура наиболее нагретой точки превышает рекомендуемое предельное значение 140 °С. Этого режима нагрузки следует избегать.

В приложениях G-I приведены: уточненный метод преобразования реального графика нагрузки; дополнительные сведения по температуре охлаждающей среды, упрощенные таблицы аварийных перегрузок и допустимых систематических нагрузок, а также пример расчета температуры обмотки и относительного износа изоляции без применения ЭВМ.

Таблица 7 - Распределительные трансформаторы с охлаждением ONAN, $t = 0,5$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 , и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 32	0,006 40	0,032 48								
0,8	0,001 36	0,006 44	0,033 52	0,093 57							
0,9	0,001 41	0,006 48	0,034 57	0,095 62	0,292 67						
1,0	0,002 45	0,006 53	0,036 61	0,099 66	0,301 72	1,00 78					
1,1	0,002 50	0,007 58	0,038 66	0,104 71	0,312 77	1,03 83	3,72 89				
1,2	0,002 55	0,008 63	0,042 72	0,112 77	0,330 82	1,08 88	3,84 95	14,9 101			
1,3	0,003 61	0,011 68	0,049 77	0,125 82	0,359 88	1,14 94	4,02 100	15,5 107	64,7 114		
1,4	0,005 67	0,014 74	0,061 83	0,148 88	0,407 93	1,25 99	4,30 106	16,2 113	67,2 120	302 127	
1,5	0,007 73	0,022 80	0,083 89	0,191 94	0,495 100	1,45 106	4,77 112	17,5 119	70,8 126	314 133	1510 141
1,6	0,013 79	0,036 86	0,126 95	0,273 100	0,662 106	1,81 112	5,61 118	19,6 125	76,6 132	332 140	1570 148
1,7	0,025 86	0,066 93	0,213 102	0,437 107	0,992 112	2,52 118	7,21 125	23,5 132	86,9 139	361 146	1670 154
1,8	0,050 92	0,129 100	0,394 108	0,778 114	1,67 119	3,95 125	10,4 131	31,2 138	107 145	415 153	1830 161
1,9	0,104 99	0,263 107	0,782 115	1,50 121	3,11 126	6,98 132	17,2 138	47,0 145	146 152	520 160	2130 168
2,0	0,224 107	0,559 114	1,64 123	3,10 128	6,26 133	13,6 139	31,7 146	80,9 153	229 160	737 167	2730 175

Таблица 8 - Распределительные трансформаторы с охлаждением *ONAN*, $t = 1$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 35	0,006 41	0,032 48								
0,8	0,002 40	0,006 46	0,034 53	0,093 57							
0,9	0,002 45	0,007 51	0,037 58	0,098 63	0,292 67						
1,0	0,002 50	0,008 57	0,040 64	0,106 68	0,310 73	1,00 78					
1,1	0,003 56	0,010 63	0,047 70	0,118 74	0,337 79	1,07 84	3,72 89				
1,2	0,005 62	0,014 69	0,058 76	0,140 80	0,382 85	1,17 90	3,98 96	14,9 101			
1,3	0,008 69	0,022 75	0,080 83	0,180 87	0,461 92	1,34 97	4,39 102	16,0 108	64,7 114		
1,4	0,015 76	0,038 82	0,123 90	0,258 94	0,612 99	1,66 104	5,11 109	17,9 115	69,8 121	302 127	
1,5	0,031 83	0,073 90	0,214 97	0,419 101	0,918 106	2,28 111	6,46 116	21,1 122	78,3 128	327 135	1510 141
1,6	0,065 91	0,150 97	0,413 104	0,771 109	1,57 113	3,58 119	9,22 124	27,3 130	93,9 136	370 142	1640 149
1,7	0,146 99	0,329 105	0,871 112	1,57 117	3,05 121	6,46 126	15,2 132	40,5 138	125 144	450 150	1870 157
1,8	0,340 107	0,760 113	1,96 120	3,46 125	6,52 129	13,2 135	28,8 140	69,9 146	192 152	615 158	2310 165
1,9	0,826 115	1,83 122	4,66 129	8,12 133	15,0 138	29,4 143	61,5 148	139 154	347 160	983 167	3250 173
2,0	2,08 124	4,58 130	11,5 138	20,0 142	36,4 147	70,2 152	143 157	311 163	725 169	1860 175	5410 182

Таблица 9 - Распределительные трансформаторы с охлаждением *ONAN*, $t = 2$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 , и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в

таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,002 39	0,006 43	0,032 48								
0,8	0,002 45	0,008 49	0,036 54	0,093 57							
0,9	0,003 51	0,010 56	0,042 61	0,104 64	0,292 67						
1,0	0,005 58	0,014 63	0,053 68	0,123 71	0,330 74	1,00 78					
1,1	0,010 66	0,023 70	0,074 75	0,159 78	0,398 82	1,14 85	3,72 89				
1,2	0,020 74	0,043 78	0,118 83	0,234 86	0,531 90	1,40 93	4,28 97	14,9 101			
1,3	0,045 82	0,090 86	0,221 92	0,399 95	0,814 98	1,93 102	5,35 106	17,4 110	64,7 114		
1,4	0,108 91	0,208 95	0,470 100	0,792 103	1,47 107	3,10 110	7,60 114	22,1 118	76,0 123	302 127	
1,5	0,275 100	0,518 104	1,12 110	1,80 113	3,11 116	5,93 120	12,8 124	32,5 128	98,5 132	357 137	1510 141
1,6	0,745 109	1,38 114	2,88 119	4,51 122	7,48 126	13,3 129	26,0 133	57,4 137	150 142	472 146	1800 151
1,7	2,13 119	3,89 124	7,96 129	12,2 132	19,8 135	33,8 139	61,7 143	123 147	278 151	742 156	2430 161
1,8	6,36 129	11,5 134	23,3 139	35,4 142	56,3 146	93,9 149	165 153	308 157	628 162	1450 166	3950 171
1,9	19,9 140	35,9 145	71,8 150	108 153	170 156	280 160	480 164	866 168	1660 172	3440 177	8070 182
2,0	65,3 151	117 156	232 161	348 164	544 167	884 171	1500 175	2640 179	4880 183	+	+

Таблица 10 - Распределительные трансформаторы с охлаждением *ONAN*, $t = 4$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 , и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,003 43	0,008 46	0,032 48								
0,3	0,005 51	0,012 53	0,040 56	0,093 57							
0,9	0,010 59	0,020 61	0,056 64	0,117 66	0,292 67						
1,0	0,023 68	0,039 70	0,091 73	0,170 74	0,377 76	1,00 78					
1,1	0,056 77	0,091 79	0,178 82	0,294 84	0,566 86	1,32 87	3,72 89				
1,2	0,154	0,236	0,417	0,621	1,04	2,06	5,00	14,9			

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
	179	180	180	181	181	182	182	183	183	184	+

Таблица 12 - Распределительные трансформаторы с охлаждением *ONAN*, $t = 24$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 , и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим.

K_2	K_1
	0,25-1,5
0,7	0,032 48
0,8	0,093 57
0,9	0,292 67
1,0	1,00 78
1,1	3,72 89
1,2	14,9 101
1,3	64,7 114
1,4	302 127
1,5	1510 141
1,6	8080 156
1,7	+ 171

Таблица 13 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *ON*, $t = 0,5$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 , и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 30	0,004 37	0,024 46								
0,8	0,001 35	0,004 42	0,025 50	0,074 55							
0,9	0,001 40	0,004 47	0,026 55	0,077 61	0,258 66						
1,0	0,001 45	0,005 52	0,027 61	0,080 66	0,267 72	1,00 78					
1,1	0,001 51	0,005 58	0,029 67	0,085 72	0,279 78	1,04 84	4,30 91				
1,2	0,002 57	0,007 64	0,034 73	0,094 78	0,300 84	1,09 90	4,47 97	20,5 104			
1,3	0,003 64	0,009 71	0,042 79	0,111 84	0,338 90	1,18 96	4,73 103	21,4 111	108 119		
1,4	0,005 71	0,015 78	0,059 86	0,144 91	0,409 97	1,35 103	5,18 110	22,8 118	113 125	631 134	
1,5	0,010 78	0,027 85	0,095 93	0,213 98	0,554 104	1,69 110	6,03 117	25,2 125	121 133	661 141	4040 150
1,6	0,022 85	0,054 92	0,174 101	0,365 106	0,868 112	2,39 118	7,76 125	29,9 132	135 140	710 148	4250 157
1,7	0,048 93	0,118 100	0,356 109	0,712 114	1,58 119	3,98 126	11,6 133	39,8 140	164 148	802 156	4590 165
1,8	0,113 101	0,271 108	0,794 117	1,54 122	3,28 128	7,69 134	20,4 141	62,3 148	226 156	994 164	5250 173
1,9	0,275 110	0,652 117	1,88 125	3,60 130	7,45 136	16,8 142	41,7 149	116 157	373 164	1430 173	6650 182
2,0	0,695 118	1,64 125	4,69 134	8,88 139	18,1 145	40,0 151	95,8 158	251 165	736 173	2480 182	+ +

Таблица 14 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *ON*, $t = 1$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 33	0,004 39	0,024 46			-					
0,8	0,001 39	0,004 44	0,025 51	0,074 55							
0,9	0,001 45	0,005 50	0,027 57	0,079 62	0,258 66						
1,0	0,002 51	0,006 57	0,031 64	0,087 68	0,276 73	1,00 78					
1,1	0,003 58	0,009 64	0,038 71	0,100 75	0,306 80	1,08 85	4,30 91				
1,2	0,005 66	0,014 71	0,053 78	0,128 83	0,363 87	1,21 93	4,66 98	20,5 104			

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
1,3	0,011 74	0,026 79	0,084 86	0,185 91	0,477 95	1,46 100	5,29 106	22,4 112	108 119		
1,4	0,24 82	0,055 88	0,158 95	0,317 99	0,733 104	2,00 109	6,56 114	25,7 120	119 127	631 134	
1,5	0,059 91	0,128 97	0,342 104	0,641 108	1,35 112	3,25 118	9,36 123	32,7 129	138 136	695 143	4040 150
1,6	0,153 100	0,324 106	0,827 113	1,48 117	2,92 122	6,40 127	16,2 132	48,7 138	180 145	821 152	4480 159
1,7	0,418 110	0,875 115	2,17 122	3,81 127	7,20 131	14,8 136	34,0 142	89,4 148	281 155	1100 161	5360 169
1,8	1,21 120	2,50 125	6,11 132	10,6 137	19,5 141	38,9 146	84,0 152	201 158	549 165	1800 171	7400 179
1,9	3,65 130	7,52 136	18,2 143	31,2 147	57,0 152	111 157	233 162	527 168	1310 175	3730 182	+ +
2,0	11,6 141	23,8 147	57,1 154	97,3 158	176 162	341 168	701 173	1540 179	+ +	+ +	+ +

Таблица 15 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *ON*, $t = 2$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 , и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим.

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 37	0,004 41	0,024 46								
0,8	0,002 44	0,005 48	0,027 53	0,074 55							
0,9	0,003 52	0,008 56	0,032 60	0,084 63	0,258 66						
1,0	0,005 60	0,013 64	0,044 69	0,104 71	0,297 75	1,00 78					
1,1	0,012 69	0,025 73	0,070 77	0,148 80	0,377 83	1,17 87	4,30 91				
1,2	0,030 78	0,057 82	0,136 87	0,254 90	0,563 93	1,53 96	5,09 100	20,5 104			
1,3	0,083 88	0,148 92	0,321 97	0,542 100	1,04 103	2,40 106	6,86 110	24,6 114	108 119		
1,4	0,248 99	0,432 103	0,879 108	1,39 110	2,42 114	4,79 117	11,4 121	34,2 125	132 129	631 134	
1,5	0,803 110	1,37 114	2,70 119	4,12 122	6,74 125	12,1 128	24,6 132	60,2 136	189 140	778 145	4040 150
1,6	2,80 122	4,73 126	9,07 131	13,6 133	21,5 137	36,4 140	67,1 144	140 148	352 152	1150 157	5060 162
1,7	10,4 134	17,5 138	33,0 143	48,8 146	75,9 149	125 152	218 156	414 160	885 164	2280 169	7760 174

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
1,8	41,6	69,2	129	190	291	470	800	1450	2820	6190	+
	147	151	156	158	162	165	169	173	177	182	+
1,9	177	293	542	790	1200	1920	3210	+	+	+	+
	160	164	169	172	175	178	182	+	+	+	+
2,0	803	1320	2430	+	+	+	+	+	+	+	+
	174	178	183	+	+	+	+	+	+	+	4-

Таблица 16 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *ON*, $t=4$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,002	0,006	0,024			-					
	42	44	46								
0,8	0,004	0,009	0,030	0,074							
	50	52	54	55							
0,9	0,010	0,018	0,045	0,097	0,258						
	60	61	64	65	66						
1,0	0,027	0,042	0,085	0,154	0,347	1,00					
	70	72	74	75	76	78					
1,1	0,082	0,118	0,205	0,316	0,585	1,39	4,30				
	81	83	85	86	87	89	91				
1,2	0,277	0,386	0,608	0,844	1,32	2,48	6,15	20,5			
	93	94	96	98	99	101	102	104			
1,3	1,04	1,41	2,11	2,76	3,88	6,12	11,7	30,2	108		
	105	107	109	110	112	113	115	117	119		
1,4	4,26	5,70	8,27	10,5	14,0	19,9	31,7	61,6	164	631	
	118	120	122	123	125	126	128	130	132	134	
1,5	19,1	25,3	36,0	44,9	58,2	78,7	113	182	358	987	4040
	132	134	136	137	139	140	142	144	146	148	150
1,6	93,7	123	172	213	271	356	490	715	1160	2300	6530
	147	148	151	152	153	155	156	158	160	162	164
1,7	499	649	901	1100	1390	1800	2410	3360	4980	8140	+
	162	164	166	167	168	170	172	174	175	178	180
1,8	2880	3730	5130	6240	7790	+	+	+	+	+	+
	178	180	182	183	184	+	+	+	+	+	+

Таблица 17 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *ON*, $t=8$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
указанный здесь коэффициент								

Температура наиболее нагретой точки:
 прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,005 45	0,009 45	0,024 46								
0,8	0,014 54	0,019 55	0,038 55	0,074 55							
0,9	0,040 65	0,051 65	0,080 66	0,126 66	0,258 66						
1,0	0,135 76	0,160 77	0,216 77	0,287 77	0,463 78	1,00 78					
1,1	0,506 89	0,584 89	0,726 89	0,871 90	1,16 90	1,90 90	4,30 91				
1,2	2,12 102	2,40 102	2,86 103	3,26 103	3,91 103	5,22 103	8,64 104	20,5 104			
1,3	9,84 116	11,0 116	12,8 117	14,2 117	16,3 117	19,6 117	26,1 118	43,6 118	108 119		
1,4	50,5 131	56,1 131	64,3 131	70,4 132	78,5 132	90,1 132	108 133	145 133	244 133	631 134	
1,5	286 146	315 147	358 147	388 147	427 148	478 148	551 149	665 148	886 149	1500 149	4040 150
1,6	1780 163	1950 163	2200 164	2370 164	2580 164	2850 164	3220 165	3720 165	4500 165	5990 166	+ 166
1,7	+ 180	+ 180	+ 181	+ 181	+ 181	+ 182	+ 182	+ 182	+ 183	+ 183	+ 184

Таблица 18 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением ON, t= 24 ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K₁ и K₂ и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:
 прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁
	0,25-1,5
0,7	0,024 46
0,8	0,074 55
0,9	0,258 66
1,0	1,00 78
1,1	4,30 91

K_2	K_1
	0,25-1,5
1,2	20,5
	104
1,3	108
	119
1,4	631
	134
1,5	4040
	150
1,6	+
	167

Таблица 19 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением F , $t = 0,5$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 , и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K_2	K_1										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001	0,003	0,020								
	35	39	44								
0,8	0,001	0,003	0,020	0,065							
	42	46	51	54							
0,9	0,001	0,004	0,022	0,067	0,239						
	49	53	59	62	66						
1,0	0,002	0,005	0,024	0,072	0,249	1,00					
	57	61	67	70	74	78					
1,1	0,004	0,008	0,032	0,084	0,270	1,05	4,70				
	66	70	75	79	83	87	91				
1,2	0,009	0,018	0,051	0,114	0,323	1,15	4,93	24,8			
	75	79	85	88	92	96	101	106			
1,3	0,025	0,045	0,107	0,202	0,471	1,42	5,49	26,2	147		
	85	89	95	98	102	106	111	116	121		
1,4	0,075	0,131	0,280	0,470	0,915	2,21	7,02	29,5	156	975	
	96	100	105	108	112	116	121	126	132	138	
1,5	0,241	0,415	0,846	1,35	2,35	4,73	11,8	39,2	178	1040	7230
	107	111	116	119	123	127	132	137	143	149	155
1,6	0,823	1,41	2,82	4,38	7,30	13,3	27,7	70,8	246	1200	7730
	118	122	127	131	135	139	143	148	154	160	166
1,7	2,99	5,08	10,1	15,5	25,4	44,6	85,0	183	482	1740	9120
	130	134	139	143	146	151	155	160	166	172	178
1,8	11,5	19,5	38,4	58,8	95,5	165	305	609	1360	3700	+
	142	147	152	155	159	163	168	173	178	184	+
1,9	46,9	79,1	155	237	383	657	1200	+	+	+	+
	155	160	165	168	172	176	181	+	+	+	+

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
2,0	203	341	666	1010	+	+	+	+	+	+	+
	169	173	178	182	+	+	+	+	+	+	+

Таблица 20 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OF*, $t = 1$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001	0,003	0,020			-					
	37	40	44								
0,8	0,001	0,004	0,021	0,065							
	45	48	52	54							
0,9	0,002	0,005	0,024	0,070	0,239						
	54	57	61	63	66						
1,0	0,005	0,009	0,032	0,081	0,260	1,00					
	63	66	70	72	75	78					
1,1	0,012	0,021	0,053	0,113	0,312	1,10	4,70				
	73	76	80	82	85	88	91				
1,2	0,036	0,058	0,119	0,209	0,462	1,35	5,21	24,8			
	84	87	91	93	96	99	102	106			
1,3	0,120	0,186	0,342	0,528	0,945	2,14	6,62	27,8	147		
	95	98	102	105	107	110	114	117	121		
1,4	0,431	0,659	1,16	1,68	2,66	4,85	11,2	36,4	166	975	
	108	110	114	117	119	122	126	129	133	138	
1,5	1,68	2,55	4,37	6,18	9,30	15,2	28,3	66,7	225	1110	7230
	120	123	127	129	132	135	138	142	146	150	155
1,6	7,09	10,7	18,1	25,3	37,2	58,0	97,6	186	446	1570	8340
	134	137	140	143	146	149	152	155	159	164	168
1,7	32,3	48,3	81,0	112	164	250	406	706	1380	3370	+
	148	151	154	157	160	163	166	170	173	178	182
1,8	159	236	393	543	784	1190	1890	3180	+	+	+
	162	165	169	171	174	177	181	184	+	+	+
1,9	842	1250	2060	+	+	+	+	+	+	+	+
	178	181	184	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблица 21 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OF*, $t = 2$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	6,001 41	0,004 42	0,020 44								
0,8	0,002 45	0,005 51	0,023 53	0,065 54							
0,9	0,006 60	0,010 61	0,030 63	0,076 64	0,239 66						
1,0	0,017 70	0,025 72	0,053 74	0,107 75	0,286 76	1,00 78					
1,1	0,056 82	0,077 84	0,130 86	0,207 87	0,426 88	1,22 90	4,70 91				
1,2	0,211 95	0,280 96	0,421 98	0,577 99	0,922 101	1,93 102	5,85 104	24,8 106			
1,3	0,877 108	1,14 109	1,64 111	2,10 113	2,91 114	4,66 116	9,90 117	31,6 119	147 121		
1,4	4,03 122	5,20 124	7,27 126	9,07 127	11,8 128	16,6 130	26,7 131	57,2 133	191 135	975 138	
1,5	20,5 137	26,1 139	36,0 141	44,3 142	56,4 143	75,1 145	107 146	173 148	372 150	1300 153	7230 155
1,6	114 153	145 154	198 156	241 158	303 159	394 161	536 162	774 164	1260 166	2730 168	9870 171
1,7	703 169	886 171	1200 173	1450 174	1800 176	2320 177	3090 179	4280 181	6290 183	+	+

Таблица 22 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OF*, $t = 4$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,003 43	0,005 43	0,20 44			-					
0,8	0,006 53	0,010 53	0,026 54	0,065 54							
0,9	0,019 64	0,025 64	0,046 65	0,089 65	0,239 66						
1,0	0,069 76	0,082 76	0,117 77	0,172 77	0,344 78	1,00 78					
1,1	0,278 89	0,320 89	0,403 90	0,499 90	0,734 91	1,50 91	4,70 91				
1,2	1,26 103	1,43 103	1,71 104	1,96 104	2,42 104	3,54 105	7,37 105	24,8 106			
1,3	6,40	7,18	8,40	9,37	10,8	13,3	19,3	40,7	147		

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
1,4	118	118	119	119	119	120	120	121	121	975	
	36,4	40,5	46,7	51,4	57,8	67,0	82,6	119	252		
1,5	134	134	134	135	135	136	136	137	136	138	7230
	231	256	292	319	353	400	467	576	823	1760	
1,6	150	151	151	151	152	152	153	153	154	154	155
	1640	1800	2040	2210	2430	2720	3100	3640	4500	6400	-1-
	168	168	169	169	169	170	170	171	171	172	173

Таблица 23 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OF*, $t = 8$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,006	0,008	0,020								
	44	44	44								
0,8	0,017	0,020	0,034	0,065							
	54	54	54	54							
0,9	0,057	0,063	0,082	0,118	0,239						
	66	66	66	66	66						
1,0	0,223	0,238	0,273	0,324	0,469	1,00					
	78	78	78	78	78	78					
1,1	0,989	1,04	1,14	1,24	1,45	2,11	4,70				
	91	91	91	91	91	91	91				
1,2	4,95	5,17	5,53	5,82	6,31	7,37	10,7	24,8			
	106	106	106	106	106	106	106	106			
1,3	27,8	28,9	30,6	31,8	33,5	36,3	42,1	60,7	147		
	121	121	121	121	121	121	121	121	121		
1,4	175	181	190	197	205	217	235	271	388	975	
	137	137	137	137	137	137	137	137	138	138	
1,5	1240	1280	1330	1370	1420	1490	1570	1700	1950	2780	7230
	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
1,6	9790	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173

Таблица 24 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OF*, $t = 24$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁
	0,25-1,5
0,7	0,020 44
0,8	0,065 54
0,9	0,239 66
1,0	1,00 78
1,1	4,70 91
1,2	24,8 106
1,3	147 121
1,4	975 138
1,5	7230 155
1,6	+ 173

Таблица 25 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OD*, *t* = 0,5 ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями *K₁* и *K₂* и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,000 23	0,001 29	0,008 36								
0,8	0,000 31	0,001 36	0,008 44	0,032 48							
0,9	0,000 40	0,001 45	0,009 53	0,034 57	0,163 62						
1,0	0,001 50	0,002 55	0,010 63	0,037 67	0,172 72	1,00 78					
1,1	0,002 61	0,004 66	0,016 73	0,048 78	0,196 83	1,06 89	7,42 95				
1,2	0,005 73	0,012 78	0,037 86	0,087 90	0,275 95	1,25 101	7,97 107	66,7 114			
1,3	0,021 86	0,045 91	0,123 99	0,244 103	0,589 108	1,94 114	9,73 120	72,3 127	726 135		
1,4	0,096 100	0,201 105	0,524 113	0,970 117	2,02 122	5,03 128	17,1 135	92,3 142	794 149	9550 157	

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
1,5	0,497	1,03	2,63	4,77	9,43	20,8	53,7	186	1070	+	+
	115	121	128	132	138	143	150	157	164	172	181
1,5	2,90	5,97	15,1	27,1	52,8	112	263	711	2520	+	+
	131	137	144	149	154	160	166	173	180	+	+
1,7	19,1	39,2	98,5	176	339	712	1630	+	+	+	+
	148	154	161	166	171	177	183	+	+	+	+
1,8	143	291	727	1290	+	+	+	+	+	+	+
	167	172	180	184	+	+	+	+	+	+	-i-

Таблица 26 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OD*, $t = 1$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим.

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,000	0,001	0,008								
	27	31	36								
0,8	0,000	0,001	0,008	0,032							
	36	40	45	48							
0,9	0,001	0,002	0,010	0,035	0,163						
	46	50	55	59	62						
1,0	0,002	0,004	0,015	0,045	0,183	1,00					
	58	62	67	70	74	78					
1,1	0,007	0,013	0,035	0,078	0,246	1,14	7,42				
	70	74	80	83	87	91	95				
1,2	0,030	0,054	0,123	0,221	0,500	1,65	8,65	66,7			
	84	88	94	97	101	105	109	114			
1,3	0,152	0,269	0,571	0,939	1,74	3,98	13,6	79,4	726		
	100	104	109	112	116	120	125	130	135		
1,4	0,893	1,56	3,23	5,14	8,85	17,0	39,4	137	884	9550	
	116	120	125	129	132	136	141	146	151	157	
1,5	6,08	10,5	21,4	33,6	56,4	102	204	483	1700	+	+
	134	138	143	146	150	154	159	164	169	175	181
1,6	48,0	82,3	165	257	426	754	1440	3000	+	+	+
	153	157	162	165	169	173	178	183	+	+	+
1,7	438	745	1480	+	+	+	+	+	+	+	+
	173	177	182	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблица 27 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OD*, $t = 2$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_1 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °C	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
указанный здесь коэффициент								

Температура наиболее нагретой точки- прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,000 31	0,001 33	0,008 36								
0,8	0,001 42	0,002 44	0,009 47	0,032 48							
0,9	0,002 54	0,004 56	0,014 59	0,040 50	0,163 62						
1,0	0,010 68	0,015 70	0,032 72	0,067 74	0,209 76	1,00 78					
1,1	0,048 83	0,070 85	0,122 87	0,192 89	0,398 91	1,33 93	7,42 95				
1,2	0,278 99	0,395 101	0,639 104	0,894 105	1,41 107	2,93 109	10,4 112	66,7 114			
1,3	1,93 117	2,70 119	4,22 122	5,66 123	8,09 125	12,9 127	26,6 130	97,7 132	726 135		
1,4	15,9 136	22,0 138	33,7 141	44,3 143	61,1 144	89,6 147	145 149	297 152	1120 154	9550 157	
1,5	156 157	213 159	321 162	418 163	566 165	805 167	1210 170	1990 172	4070 175	+	+
1,6	1800 179	2450 181	3650 184	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблица 28 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OD*, $t = 4$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:
прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,001 35	0,002 35	0,008 36								
0,8	0,003 47	0,004 47	0,011 48	0,032 48							
0,9	0,011 60	0,014 61	0,024 61	0,049 62	0,163 62						
1,0	0,054 75	0,065 76	0,091 76	0,130 77	0,271 77	1,00 78					
1,1	0,334 92	0,392 93	0,500 93	0,610 94	0,863 94	1,80 95	7,42 95				
1,2	2,50 110	2,90 111	3,56 112	4,12 112	5,03 113	7,01 113	14,6 114	66,7 114			

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
1,3	22,7	26,0	31,2	35,4	41,3	50,6	69,9	145	726		
	130	131	131	132	132	133	134	134	135		
1,4	248	281	334	374	429	505	622	853	1740	9550	
	152	152	153	153	154	155	155	156	157	157	
1,5	3270	3690	4330	4810	5440	6300	7490	9300	+	+	+
	175	175	176	177	177	178	178	179	180	180	181

Таблица 29 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OD*, $t = 8$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 , и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁										
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,7	0,002	0,003	0,008								
	36	36	36								
0,8	0,008	0,009	0,015	0,032							
	48	48	48	48							
0,9	0,036	0,039	0,049	0,071	0,163						
	62	62	62	62	62						
1,0	0,204	0,218	0,247	0,285	0,407	1,00					
	78	78	78	78	78	78					
1,1	1,42	1,50	1,64	1,76	2,02	2,85	7,42				
	95	95	95	95	95	95	95				
1,2	12,0	12,6	13,5	14,3	15,3	17,4	24,3	66,7			
	114	114	114	114	114	114	114	114			
1,3	123	129	137	143	151	162	183	252	726		
	135	135	135	135	135	135	135	135	135		
1,4	1540	1590	1680	1740	1820	1930	2080	2340	3170	9550	
	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	
1,5	+	+	-Г	+	+	+	+	+	+	+	+
	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181

Таблица 30 - Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OD*, $t = 24$ ч. Допустимые нагрузки и соответствующее суточное сокращение срока службы (в «нормальных» сутках)

Для определения графика допустимой нагрузки, характеризуемого значениями K_1 и K_2 и расчета соответствующего сокращения срока службы необходимо:

Температура охлаждающей среды, °С	40	30	20	10	0	-10	-20	-25
Суточное сокращение срока службы: умножить значение, приведенное в таблице, на указанный здесь коэффициент	10	3,2	1,0	0,32	0,1	0,032	0,01	0,0055

Температура наиболее нагретой точки:

прибавить температуру охлаждающей среды к превышению температуры, приведенному в таблице. Если полученное значение температуры наиболее нагретой точки превышает предельное значение, приведенное в таблице 1, такой режим нагрузки недопустим

K ₂	K ₁
	0,25-1,5
0,7	0,008 36
0,8	0,032 48
0,9	0,163 62
1,0	1,00 78
1,1	7,42 95
1,2	66,7 114
1,3	726 135
1,4	9550 157
1,5	+ 181

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ НОМИНАЛЬНЫЙ РЕЖИМ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

Для трехфазных автотрансформаторов предельные значения полного сопротивления короткого замыкания и номинальной мощности относятся к эквивалентной мощности $S_t = 100$ МВ·А, двухобмоточных трансформаторов и максимальной номинальной мощности $S_r = 200$ МВ·А с соответствующим полным сопротивлением короткого замыкания Z_t , уменьшающимся линейно между 0 и 100 МВ·А от 25 % до 15 %.

Для автотрансформаторов, кроме трехфазных, предельные значения типовой и номинальной мощности равны соответственно 33,3 МВ·А и 66,6 МВ·А на стержень с обмоткой.

Трехфазные автотрансформаторы

$$S_t = S_r \frac{U_1 - U_2}{U_1} \leq 100 \text{ МВ·А}; \quad (\text{A.1})$$

$$S_t = \frac{S_r}{W} \cdot \frac{U_1 - U_2}{U_1} \leq 33,3 \text{ МВ·А}; \quad (\text{A.2})$$

Автотрансформаторы с ограничением номинальной мощности на стержень

$$z_t = z_r \frac{U_1}{U_1 - U_2} \leq 25 - \frac{S_t}{10}; \quad (\text{A.3})$$

$$z_t = z_r \frac{U_1}{U_1 - U_2} \leq 25 - \frac{3S_t}{10W}; \quad (\text{A.4})$$

где U_1 - высшее напряжение (основное ответвление);

U_2 - низшее напряжение (основное ответвление);

S_r - номинальная мощность, МВ·А;

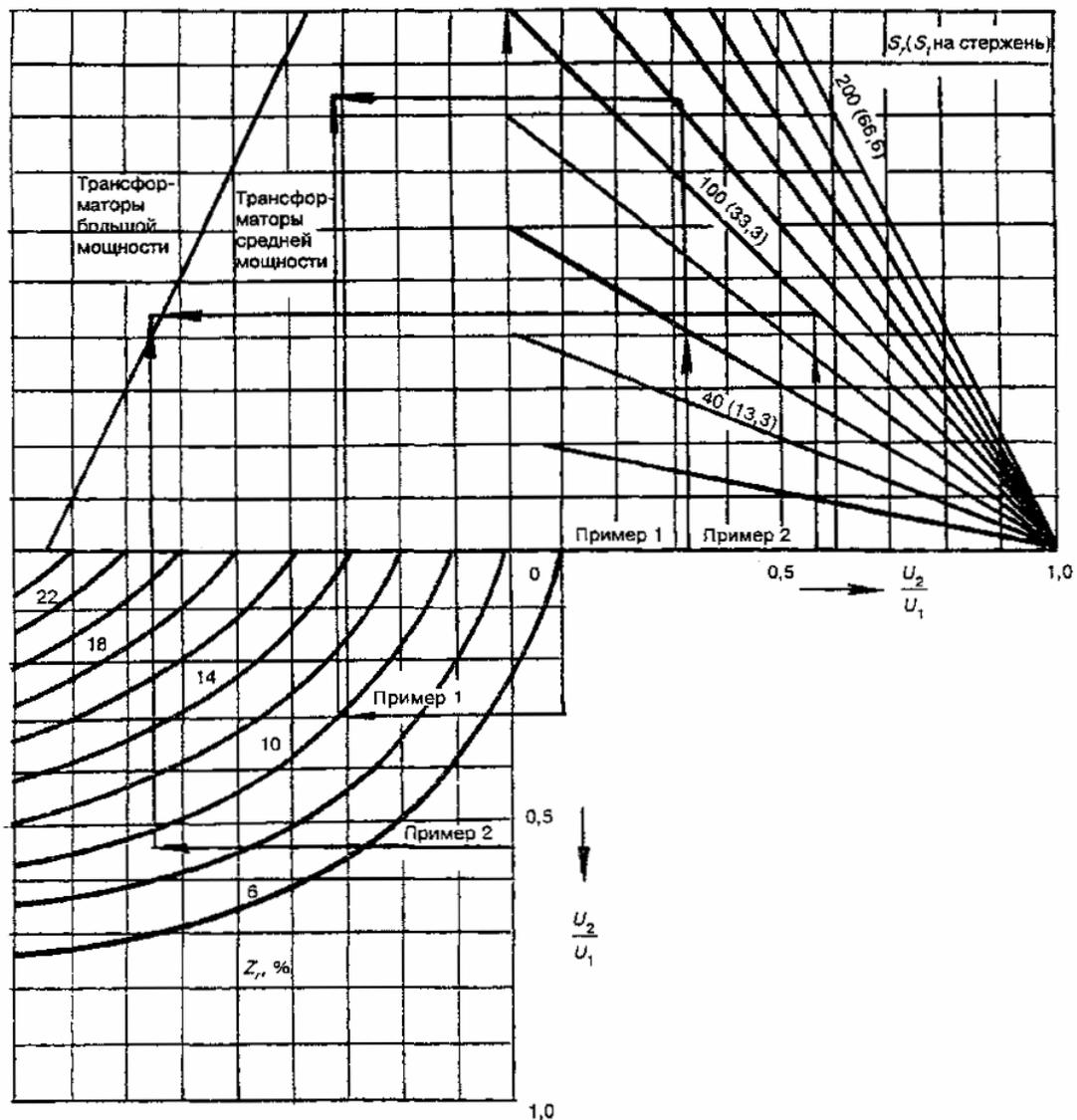
S_t - эквивалентная мощность, относящаяся к двухобмоточному трансформатору (преобразованная мощность), МВ·А;

z_r - полное сопротивление короткого замыкания, соответствующее S_r , %;

z_t - полное сопротивление короткого замыкания, соответствующее S_t , %;

W - количество стержней с обмоткой.

Номограмма к этим формулам с примерами приведена на рисунке А.1.



Примеры для трехфазных автотрансформаторов:

Пример 1. $S_r = 120 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $U_1 = 525 \text{ кВ}$; $U_2 = 161 \text{ кВ}$; $z_r = 10 \%$; $S_t = 83,2 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ (< 100); $z_t = 14,42 \%$ ($< 16,68$).

Пример 2. $S_r = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $U_1 = 400 \text{ кВ}$; $U_2 = 220 \text{ кВ}$; $z_r = 9,5 \%$; $S_t = 45,0 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ (< 100); $z_t = 21,11 \%$ ($> 20,50$).

Рисунок А.1 - Автотрансформаторы. Ограничения номинальной мощности S_r , и сопротивления короткого замыкания z_r .

ПРИЛОЖЕНИЕ В (рекомендуемое)

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЯ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ МАСЛА ОБМОТОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА НАГРЕВ

В.1 Для охлаждения *ONAN* и *OFAN* можно получить удовлетворительные кривые охлаждения. Для охлаждения воздухом и водой с принудительной циркуляцией в ГОСТ 3484.2 приведено следующее требование: «с отключением трансформатора от источника прекращают работу вентиляторов и водяных насосов, масляные насосы не отключают». Это может вызвать переходные тепловые процессы, которые искажают характеристики предполагаемой кривой охлаждения; наличие двух показательных экспоненциальных величин затрудняет экстраполирование к «нулю» и «бесконечности» для получения R_2 и R' (см. ГОСТ 3484.2, рисунок 8).

Чтобы свести к минимуму эти искажения кривой охлаждения (сопротивления) для всех видов охлаждения, необходимо в течение всей продолжительности кривой охлаждения поддерживать условия охлаждения такими же, как те, которые преобладают при испытании на нагрев. Для учета охлаждения трансформатора после

отключения результаты испытания должны быть откорректированы следующим образом.

Используя постоянную времени (масла) трансформатора, определенную по приложению В.2, превышение средней температуры обмотки в каждой точке измерения сопротивления определяют по формулам

$$\Delta\theta_{Rt} = \text{Exp} \frac{t}{\tau_0} \left[\frac{R_t}{R_s} (235 + \theta_{RC}) - (235 + \theta_a) \right] \text{ для меди;} \quad (\text{В.1})$$

$$\Delta\theta_{Rt} = \text{Exp} \frac{t}{\tau_0} \left[\frac{R_t}{R_s} (225 + \theta_{RC}) - (225 + \theta_a) \right] \text{ для алюминия,} \quad (\text{В.2})$$

где R_t - сопротивление обмотки, измеренное в момент t после отключения;

R_s - сопротивление обмотки (охлажденной), измеренное при температуре θ_{RC} , °С;

θ_{RC} - температура обмотки при измерении R_C , °С;

θ_a - температура охлаждающей среды при отключении, °С;

t - время после отключения, мин;

τ_0 - постоянная времени (масла) трансформатора, полученная в основном по формулам (В.4), (В.5), (В.6) или по (В.8);

τ_w - постоянная времени обмотки.

Превышение средней температуры обмотки и превышение средней температуры масла обмотки в момент отключения определяют по θ_{Rt} и t графически, как показано на рисунке 8 ГОСТ 3484.2.

(соответственно эквивалентные точки R_2 и R') или по формуле

$$\theta_{Rt} = A + B \text{Exp} (-t/\tau_w)$$

из регрессивного анализа (соответственно для $t = 0$ и $t = \infty$). Этот процесс изображен на рисунке В.1.

В.2 Для всех видов охлаждения постоянную времени масла трансформатора определяют, поддерживая охлаждение неизменным в течение $t_{\text{мин}}$ (где $t \geq 30$ мин) и регистрируя превышение температуры масла ($\Delta\theta_0$, $\Delta\theta_0$ или $\Delta\theta_b$) в момент отключения ($t = 0$) и в момент времени t после отключения.

Затем рассчитывают постоянную времени масла по формулам

$$\tau = \frac{t}{\text{In}\Delta\theta_{\theta_0} - n\Delta\theta_{\theta_t}} \text{ мин;} \quad (\text{В.4})$$

или

$$\tau = \frac{t}{\text{In}\Delta\theta_{b_0} - n\Delta\theta_{b_t}} \text{ мин;} \quad (\text{В.5})$$

или

$$\tau = \frac{t}{\text{In}\Delta\theta_{o_0} - n\Delta\theta_{o_t}} \text{ мин;} \quad (\text{В.6})$$

Если поддерживать охлаждение в течение не менее 30 мин после отключения невозможно, то постоянную времени (масла) трансформатора допускается определять по кривой превышения температуры масла при условии, что в период нагрева поддерживается постоянное значение потерь и условия охлаждения остаются неизменными. Такой график, приведенный на рисунке В.2, строят так: проводят кривую превышения температуры масла в верхних слоях $\Delta\theta_0$ в зависимости от времени t под нагрузкой. На этой кривой отмечают фактические значения $\Delta\theta_0$ и t для точек, составляющих приблизительно 0,6 и 0,95 отн. ед. от последней измеренной точки для получения соответственно t_1 , $\Delta\theta_{o1}$ и t_3 , $\Delta\theta_{o3}$. Третья точка t_2 , $\Delta\theta_{o2}$ определяется по кривой, где $(t_2 - t_1) = (t_3 - t_2)$

Окончательное превышение температуры масла в верхних слоях рассчитывают по формуле

$$\Delta\theta_{ou} = \frac{\Delta\theta_{o1} \times \Delta\theta_{o3} - \Delta\theta_{o2}^2}{\Delta\theta_{o1} + \Delta\theta_{o3} - \Delta\theta_{o2}} \quad (\text{В.7})$$

а постоянную времени (в минутах) - по формуле

$$\tau_o = (t_3 - t_1) / \text{In} \frac{\Delta\theta_{ou} - \Delta\theta_{o1}}{\Delta\theta_{ou} - \Delta\theta_{o3}} \quad (\text{В.8})$$

В.3 Пример определения средней температуры обмотки и средней температуры масла представлен на рисунках В.1 и В.2.

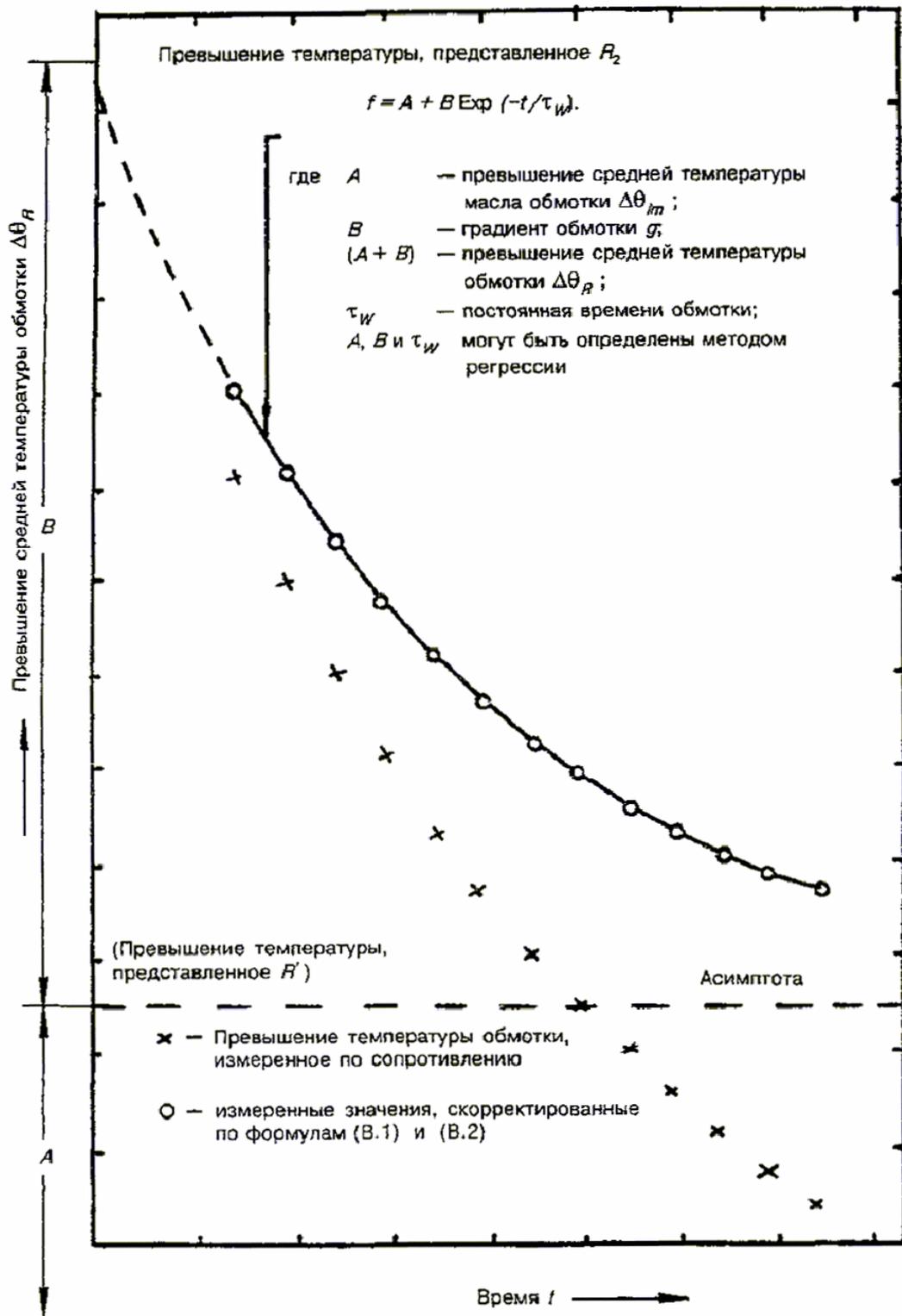


Рисунок В.1 - Определение превышения средней температуры обмотки, градиента и постоянной времени обмоток по кривой сопротивления при охлаждении

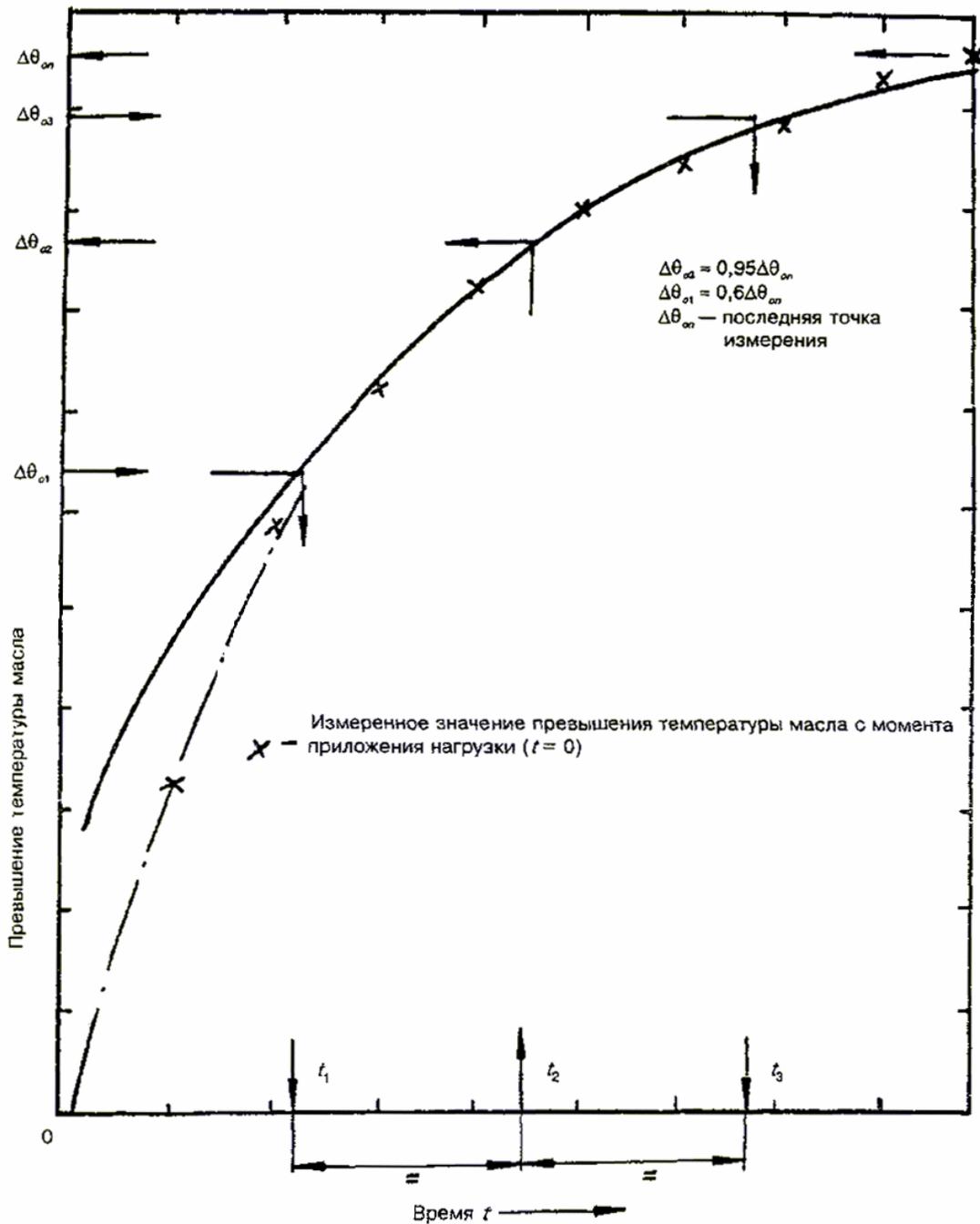


Рисунок В.2 - Определение действительной постоянной времени масла τ_o по кривой превышения температур

ПРИЛОЖЕНИЕ С
(обязательное)

СВЕДЕНИЯ, КОТОРЫЕ ПРЕДОСТАВЛЯЮТСЯ В ЗАПРОСАХ И ЗАКАЗАХ

В ГОСТ 11677 перечислены сведения, которые должны предоставляться во всех случаях и дополнительные сведения, которые могут потребоваться:

- особые условия охлаждения, например, температура охлаждающей среды, если она отличается от установленной для нормальных условий эксплуатации, или ограничение циркуляции охлаждающего воздуха;
- данные о предусмотренных режимах нагрузки (нагрузка выше номинальной).

Режим нагрузки трансформаторов может быть ограничен (кроме вводов, выводов, устройств переключения ответвлений обмоток и другого присоединенного оборудования) предельной температурой обмоток, а также предельной температурой элементов вне обмотки, имеющих малую тепловую постоянную времени.

При токах нагрузки выше номинального для предупреждения перегрева может возникнуть необходимость принимать при конструировании трансформатора специальные меры, например, предусмотреть увеличение размеров проводов на концах обмоток или электромагнитных экранов. Кроме того, определение размеров электромагнитных экранов для предотвращения их насыщения может потребовать дополнительных исследований.

Для обеспечения надежной работы при перегрузке трансформаторы большой мощности требуют более индивидуального подхода, чем трансформаторы малой мощности. Поэтому потребитель должен указать характеристики возможных перегрузок:

- рабочие характеристики, например, максимальный или эквивалентный ток нагрузки и его продолжительность, циклический режим работы, график нагрузки, в случае необходимости - упрощенный (начальное и максимальное значения тока нагрузки, а также его продолжительность),
- эквивалентную или среднюю температуру охлаждающей среды и диапазон ее изменения, соответствующий условиям работы;
- допустимую относительную скорость сокращения срока службы, соответствующую различным режимам нагрузки.

ПРИЛОЖЕНИЕ D (рекомендуемое)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИНУСОИДАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Обычно температура охлаждающей среды изменяется в течение года и, более того, в течение суток. При внимательном рассмотрении накопленных в течение многих лет метеорологических данных видно, что температура охлаждающей среды изменяется по практически синусоидальной кривой. Поэтому при вычислении годового сокращения срока службы трансформатора значения температуры охлаждающей среды могут быть представлены двойной синусоидальной функцией с параметрами, приведенными на рисунке D.1. Максимальное значение B следует выбирать из значений B каждого месяца года (обычно максимальное значение B выбирают из самого жаркого месяца) и рассматривать его далее как постоянное значение. Основываясь на этом предположении, для расчета сокращения срока службы годовую температуру охлаждающей среды можно представить двойной синусоидальной функцией.

Допускается использовать соответствующие значения θ_{av} , A , B , B_m , DX и TX , принятые для местности, где должен быть установлен выбранный трансформатор. Если есть возможность воспользоваться метеорологическими данными, накопленными в течение многих лет, следует использовать их для определения значений θ_{av} , A , B , B_m и DX с помощью программы, представленной на рисунке D.2. Кроме того, если определено значение TX , температура охлаждающей среды в этой местности с учетом всех календарных дней в течение года может быть представлена двойной синусоидальной функцией. Данные для расчета параметров при синусоидальных изменениях приведены в таблице D.1.

Можно использовать упрощенный метод расчета значений A и B , если предположить, что износ изоляции возрастает экспоненциально с повышением температуры и соответственно только температура самого жаркого месяца является показательной.

В этом случае поступают так:

рассчитывают среднесуточную температуру самого жаркого месяца по формуле

$$\theta_{ad(h)} = \frac{1}{2} (\theta_{adm(h)} + \theta_{adn(h)}) \quad (D.1)$$

рассчитывают среднегодовую температуру по формуле

$$\theta_{ay} = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{12} (\theta_{adm(j)} + \theta_{adn(j)}) \quad (D.2)$$

рассчитывают A , B и B_m по формулам

$$A = \theta_{ad(h)} - \theta_{ay}; \quad (D.3)$$

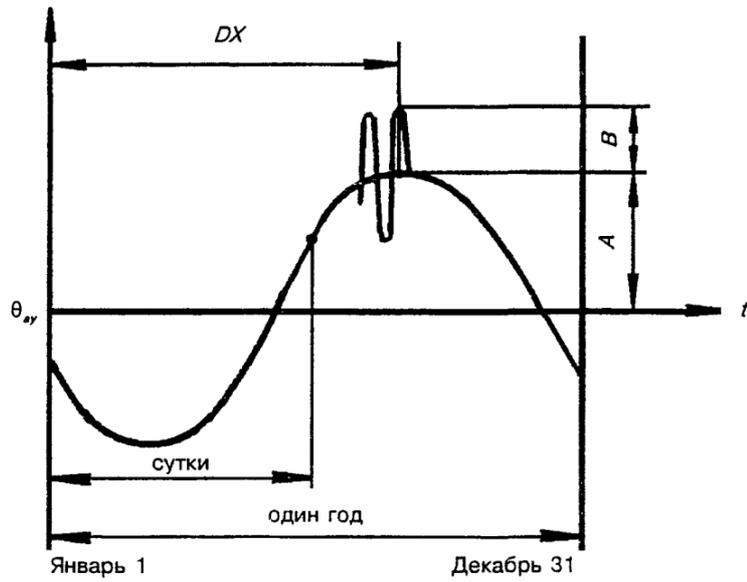
$$B = \theta_{adm(h)} - \theta_{ad(h)}; \quad (D.4)$$

$$B_m = \theta_{adm(h)} - \theta_{ad(h)}; \quad (D.5)$$

где θ_{ad} - среднесуточная температура охлаждающей среды, °С.

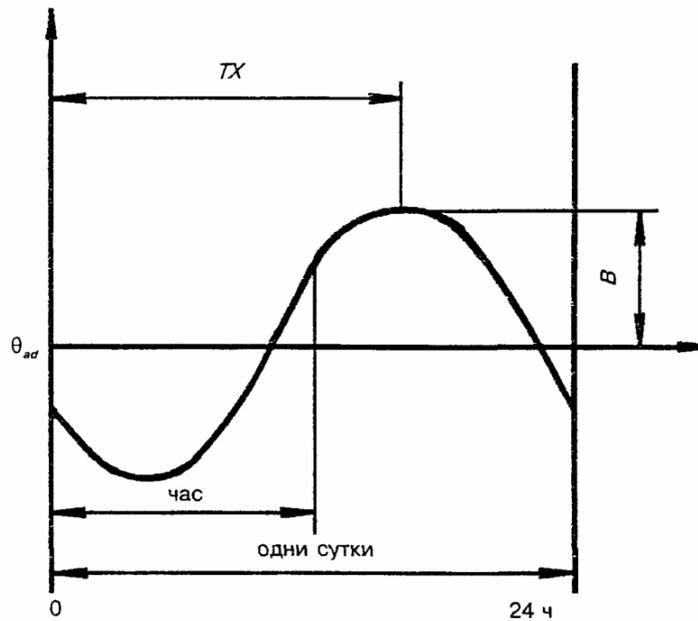
Расшифровка остальных условных обозначений приведена в 2.7.5.

Пример такого упрощенного расчета приведен в таблице D.2.



a

a — определение параметров за год;



b

b — определение параметров за сутки

Рисунок D.1 - Определение параметров при синусоидальном изменении температуры охлаждающей среды

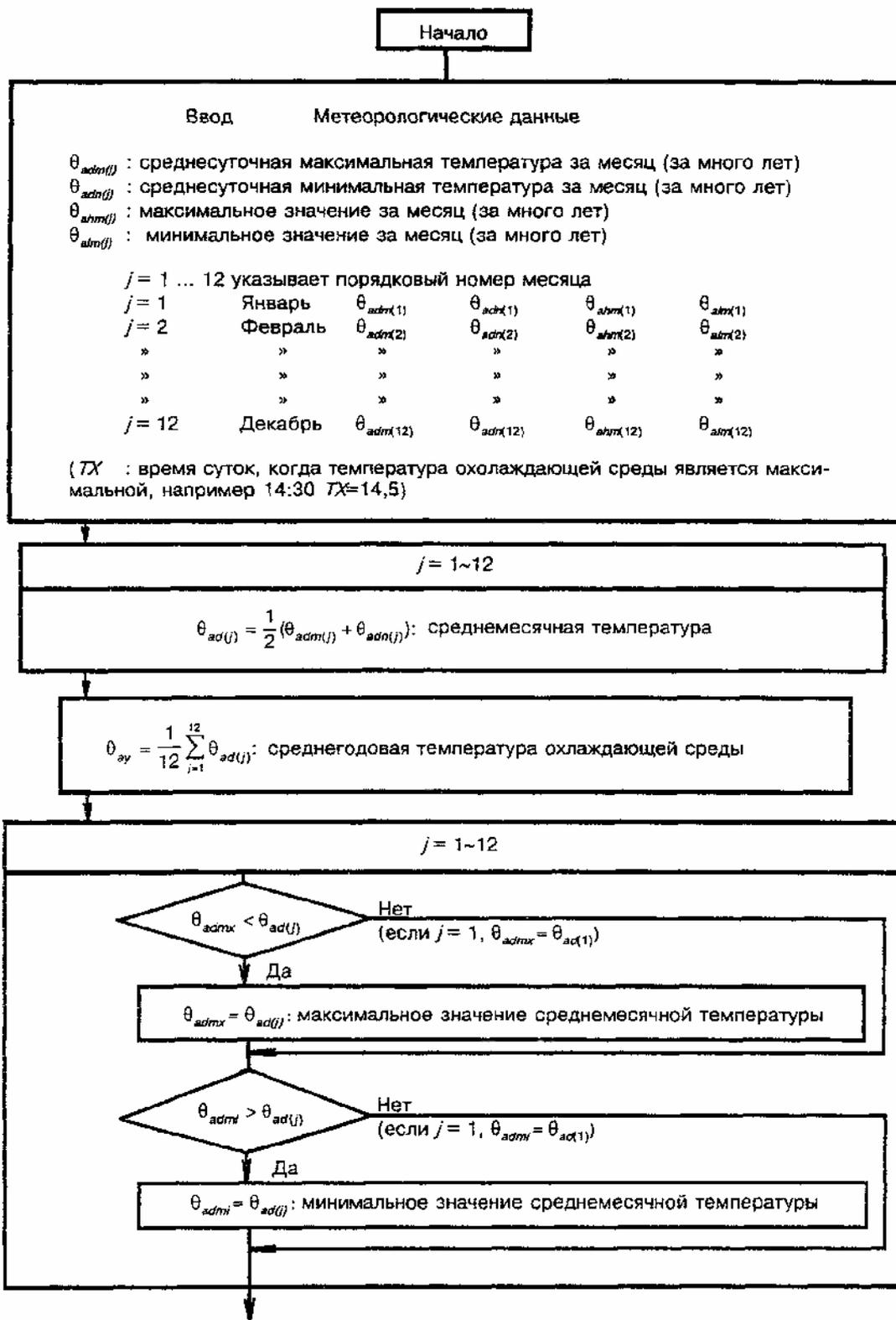
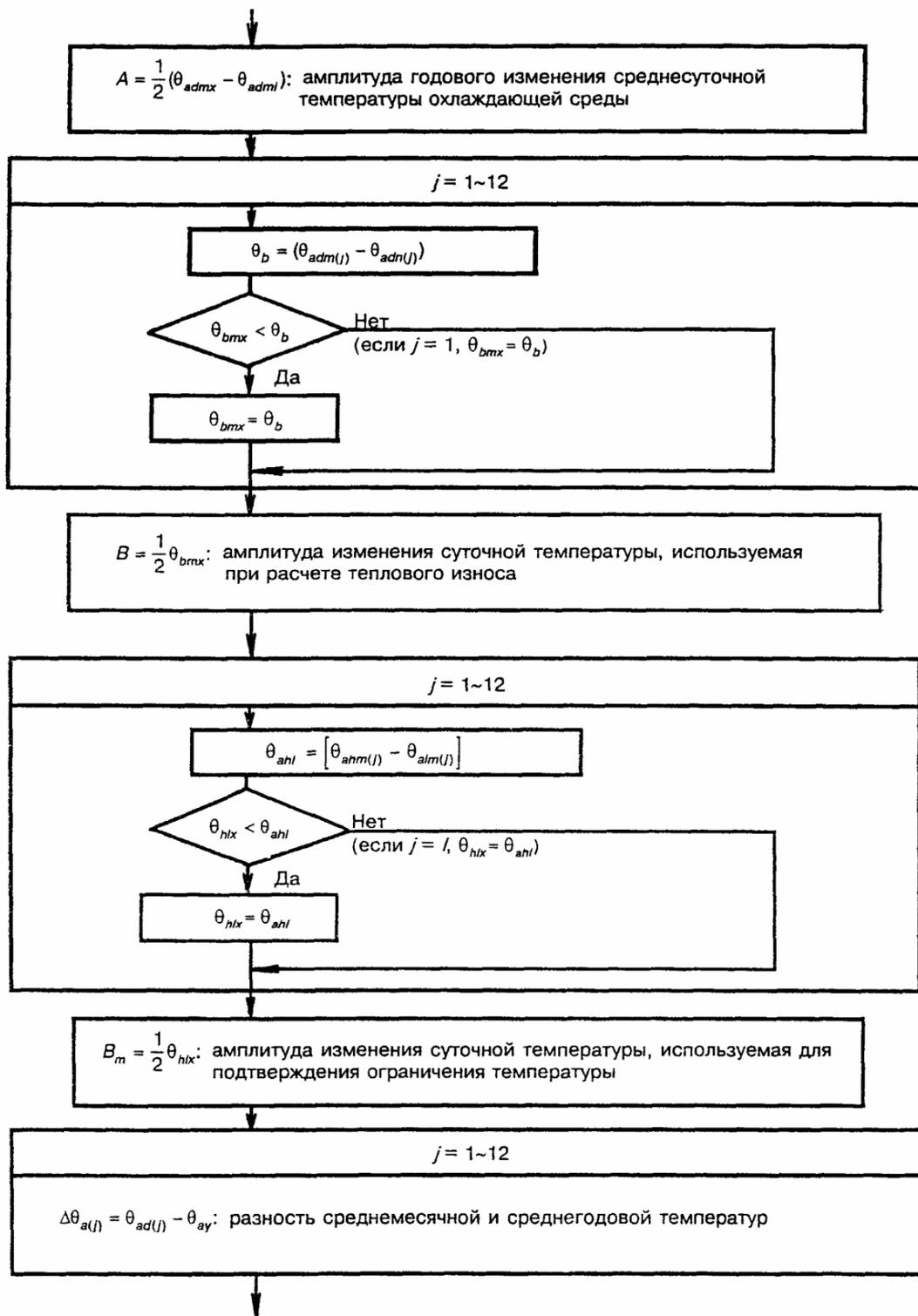
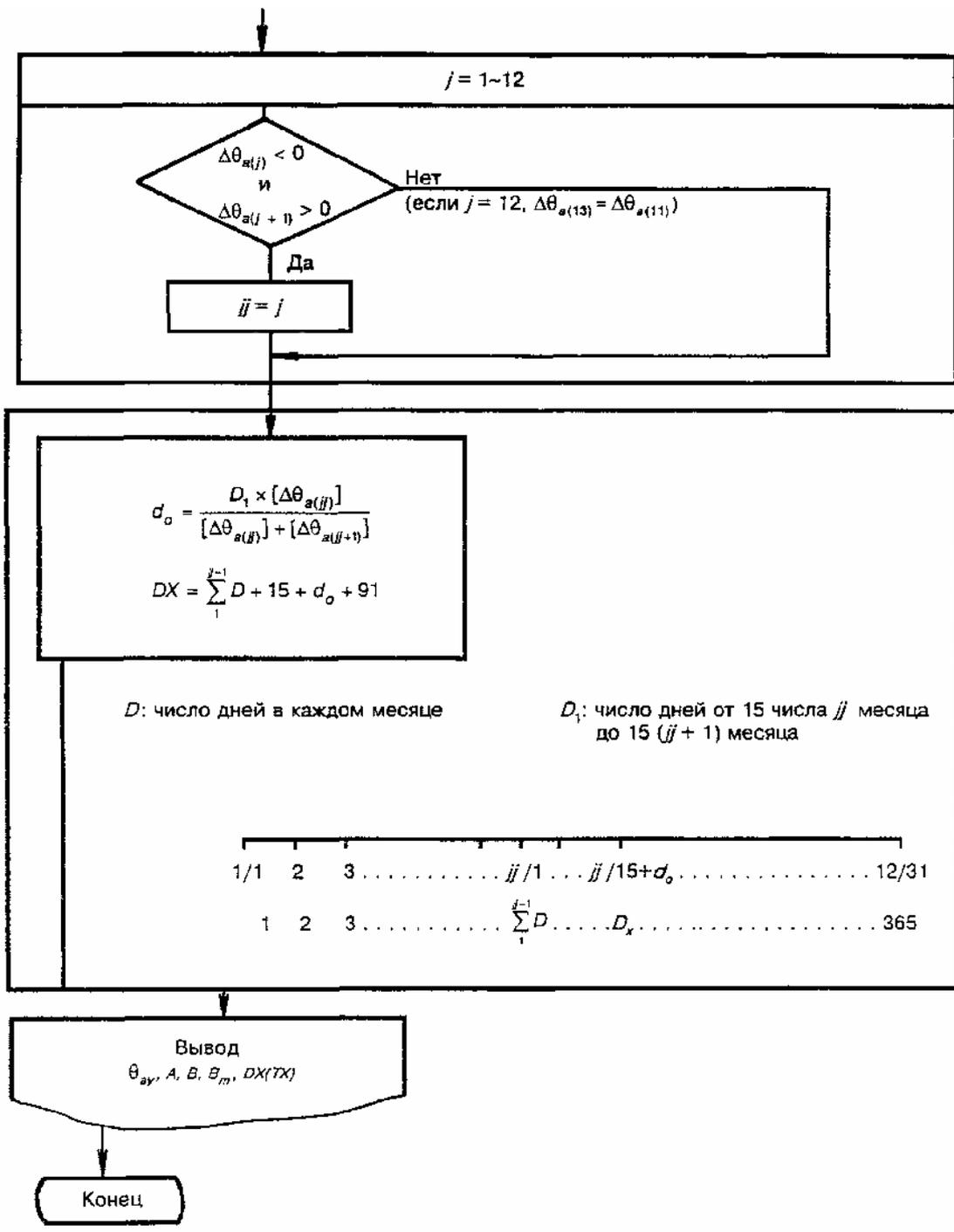


Рисунок D.2 - Блок-схема программы машинного расчета параметров при синусоидальном изменении температуры охлаждающей среды



Продолжение рисунка D.2



Окончание рисунка D.2

Таблица D.1 - Данные для расчета параметров при синусоидальном изменении температуры

Месяц	*** Входные данные ***		Метеорологические данные	
	θ_{adm}	θ_{adn}	θ_{ahm}	θ_{ahn}
1	6,0	0,90	13,30	-5,80
2	7,40	1,30	15,10	-5,20
3	12,20	3,60	20,50	-1,40
4	15,80	6,30	24,30	1,40
5	19,70	9,50	27,40	4,50
6	22,90	12,70	31,10	8,20
7	24,60	14,50	33,20	10,60
8	24,00	14,30	31,10	9,60
9	21,10	11,90	28,60	7,10

*** Входные данные ***			Метеорологические данные	
Месяц	θ_{adm}	θ_{adn}	θ_{ahm}	θ_{aim}
10	15,60	7,90	23,90	1,40
11	10,00	4,50	16,50	-1,70
12	6,60	2,00	13,30	-3,80

ТХ (время суток с самой высокой температурой охлаждающей среды) == 14:00

*** Выходные данные ***

θ_{au}	- среднегодовая температура охлаждающей среды, °С	11,47
A	- годовое изменение температуры охлаждающей среды, °С	8,05
B	- суточное изменение температуры охлаждающей среды для расчета сокращения срока службы	5,10
B_m	- суточное изменение температуры охлаждающей среды для максимальной температуры	11,45
$DХ$	- день, когда [среднесуточная температура] = [$\theta_{au} + A$]	199,00

Таблица D.2 - Пример упрощенного расчета параметров синусоидального изменения температуры

Метеорологические данные: такие же, как в таблице D.1

Самый жаркий месяц в году: месяц 7

$$\theta_{ad(h)} = \frac{1}{2}(24,60 + 14,50) = 19,55 \text{ °С};$$

$$\theta_{ay} = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{12} (\theta_{adm(j)} + \theta_{adn(j)}) = 11,47 \text{ °С};$$

$$A = 19,55 - 11,47 = 8,08 \text{ °С};$$

$$B = 24,60 - 19,55 = 5,05 \text{ °С};$$

$$B = 33,20 - 19,55 = 13,65 \text{ °С}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Е (справочное)

ПРИМЕР УПРОЩЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ РУКОВОДСТВА ПО НАГРУЗКЕ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Используя информацию, приведенную в настоящем стандарте, потребитель может рассчитать нагрузочную способность определенного трансформатора или группы трансформаторов, имеющих одинаковые характеристики. По результатам таких расчетов можно составить упрощенную инструкцию по нагрузке для операторов сети при условии, что потребитель согласовал определенное число эксплуатационных критериев.

Предположим, например, что потребитель имеет определенное число силовых трансформаторов с охлаждением *ONAN*, тепловые характеристики которых подобны приведенным в таблице 2, и согласился принять температуру наиболее нагретой точки для условий перегрузки в аварийном режиме равной 120 °С, а для кратковременных перегрузок - 140 °С.

Если не принимать во внимание термический износ, то инструкции для операторов сети могут быть представлены в виде двух простых графиков с примечаниями, как показано на рисунке Е.1. Первая кривая на рисунке Е.1, *a* - это кривая допустимой нагрузки в режиме продолжительных аварийных перегрузок (в процентах от номинальной мощности) в зависимости от температуры охлаждающей среды. Вторая кривая указывает допустимую температуру масла в верхних слоях для соответствующих условий нагрузки.

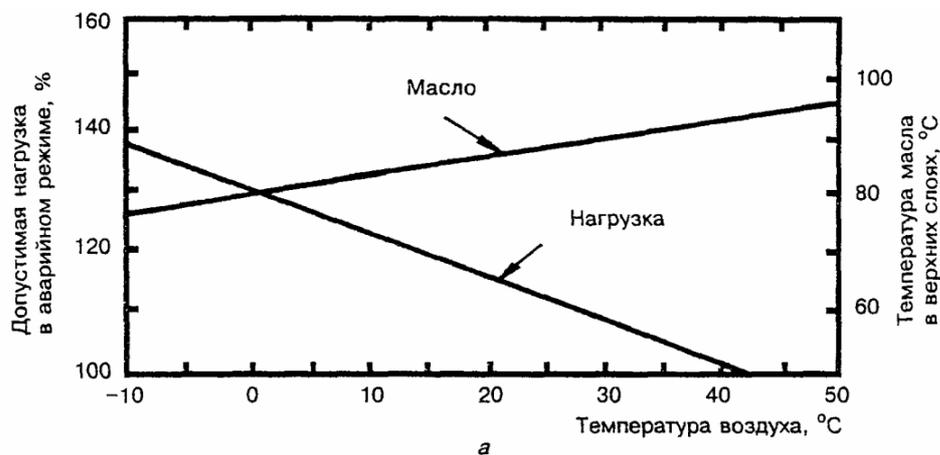
На рисунке Е.1, *b* представлены кривые допустимой дополнительной перегрузки за период максимума в зависимости от его продолжительности. Эта дополнительная мощность приведена в процентах от допустимой перегрузки в продолжительном режиме согласно рисунку Е.1, *a*. Можно провести несколько кривых для учета реальной нагрузки в начале максимума относительно допустимой перегрузки, приведенной на рисунке Е.1, *a*. Кривые нагрузки, приведенные на рисунке Е.1, *b*, менее чувствительны к температуре охлаждающей среды; здесь расчет выполнен для температуры охлаждающей среды 20 °С.

При заказе новых трансформаторов можно попросить изготовителя представить соответствующие графики допустимых перегрузок. Можно также запросить данные о нагрузочной способности для крайних положений устройства переключения ответвлений обмоток трансформатора.

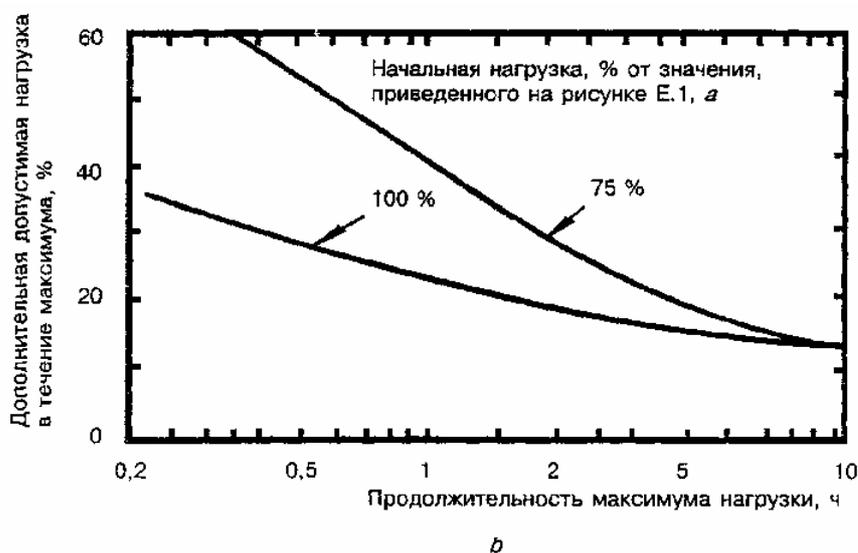
Нагрузочная способность трансформаторов

№ 123456 и № 123457 в аварийном режиме

[*ONAN*, 25 МВ·А, (110±9) · 1,67%/21кВ, 114-131-154/687 А]



a - допустимые аварийные перегрузки на основном ответвлении в установившемся режиме, выраженные в процентах от номинального тока, и допустимая температура масла в верхних слоях при этой нагрузке



b - дополнительная допустимая кратковременная перегрузка, выраженная в процентах от перегрузки в установившемся режиме

Рисунок Е.1 - Пример упрощенных инструкций при нагрузках, превышающих номинальные значения

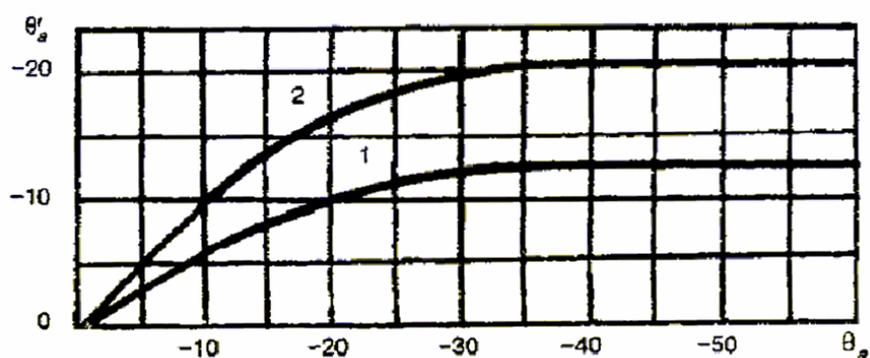
Примечания:

1. Нагрузка не должна превышать 1,5 номинального тока, независимо от определенной по рисункам Е.1, *a* и Е.1, *b*.
2. Работа устройств переключения ответвлений должна блокироваться при нагрузках, превышающих 200 А. Даже при блокировке устройства переключения ответвлений нагрузка не должна превышать 250 А.
3. Рисунок Е.1, *a* основан на температуре наиболее нагретой точки обмотки, равной 120 °С, рисунок Е.1, *b* - на температуре 140 °С.
4. Кривые на рисунке Е.1, *b* рассчитаны для температуры охлаждающей среды 20 °С, но они достаточно точны для температуры от минус 10 до 50 °С.
5. Нагрузочная способность на ответвлении 1 (126,5 кВ) составляет 102 % от нагрузочной способности на ответвлении 10 (110 кВ). На ответвлении 19 (93,5 кВ) эта нагрузочная способность составляет 98 %.
6. Графики построены по результатам испытаний на нагрев трансформатора № 123456.

ПРИЛОЖЕНИЕ G
(обязательное)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ

G.1 При отрицательных значениях средней температуры охлаждающего воздуха за интервал следует принимать скорректированное значение θ'_a согласно рисунку G.1.



1 - для трансформаторов с охлаждением ONAN, ONAF,
2 - для трансформаторов с охлаждением OF, OD

Рисунок G.1 - График корректировки средних значений отрицательных температур охлаждающего воздуха

G.2 Среднее значение θ_a следует определять измерениями либо принимать данные местной метеослужбы.

G.3 Допускается принимать значения годовой и сезонных эквивалентных температур охлаждающего воздуха по данным ряда населенных пунктов, приведенным в таблице G.1.

Таблица G.1

Населенный пункт	Эквивалентная температура, °С		
	годовая	зимняя*	летняя**
Абакан	8,7	- 19,3	17,6
Алдан	4,8	-20,1	14,6
Алматы	14,3	-5,9	22,2
Андижан	18,6	-0,3	26,3
Актюбинск	12,1	- 14,1	20,9
Архангельск	5,8	- 11,4	14,0
Астрахань	15,7	-5,3	24,1
Ачинск	7,5	-16,7	16,3
Ашгабад	21,6	-3,0	29,8
Баку	17,8	4,9	24,8
Барнаул	9,4	- 16,4	18,2
Батуми	16,1	7,5	21,6
Березники	7,5	-14,3	16,0
Белгород	11,5	-6,7	19,3
Белорецк	6,9	-15,1	15,2
Бийск	8,6	- 16,9	17,4
Биробиджан	10,0	- 19,0	18,9
Бишкек	15,0	-3,8	22,8
Благовещенск	10,4	-19,6	19,7
Благовещенское	9,2	- 16,8	17,9
Братск	7,1	-20,1	16,3
Брест	11,0	-3,4	17,9
Брянск	9,7	-7,3	17,4
Бухара	18,7	1,3	26,3
Верхоянск	2,9	-20,1	13,2
Вильнюс	9,9	-4,4	17,0
Винница	10,7	-4,9	17,8
Витебск	9,4	-6,7	16,9
Владивосток	10,0	- 11,7	17,4
Владикавказ	11,8	-3,7	18,9
Владимир	8,8	- 10,2	16,8
Волгоград	14,5	-7,9	23,0

Населенный пункт	Эквивалентная температура, °С		
	годовая	зимняя*	летняя**
Вологда	7,4	- 10,8	15,5
Воркута	0,5	- 19,4	9,4
Воронеж	11,0	-8,4	19,0
Вятка	7,9	-13,1	16,4
Гомель	10,4	-5,8	17,7
Гродно	10,1	-4,1	17,1
Грозный	15,0	-2,3	22,8
Гурьев	15,5	-8,3	24,3
Джамбул	14,2	-4,6	22,1
Днепропетровск	13,6	-4,4	21,3
Донецк	12,6	-5,6	20,4
Дудинка	0,2	- 15,5	9,9
Душанбе	18,2	3,0	25,7
Евпатория	14,8	0,8	22,1
Екатеринбург	7,8	- 14,9	17,6
Ереван	16,4	- 1,9	23,9
Житомир	10,8	-4,6	18,0
Запорожье	13,8	-4,0	21,6
Зея	7,4	-20,1	16,7
Зыряновск	8,4	- 20,1	17,6
Иванове	8,1	- 10,8	16,1
Ивано-Франковск	10,9	-3,7	17,7
Игарка	2,1	-20,1	12,0
Ижевск	10,1	- 13,4	17,4
Иркутск	7,1	- 19,1	16,0
Йошкар-Ола	8,6	- 12,5	16,9
Казань	9,4	- 12,5	17,8
Калинин	8,1	-9,1	15,9
Калининград	9,8	-2,4	16,5
Калуга	8,8	-8,9	16,5
Кандалакша	4,5	- 10,6	12,5
Караганда	10,1	- 14,3	18,9
Кемерово	7,8	-17,7	16,7
Керчь	15,1	0,4	22,6
Кзыл-Орда	16,3	-7,7	24,7
Киев	11,2	-4,8	18,9
Кировабад	17,1	- 2,5	24,4
Кировоград	12,0	-4,6	19,4
Кировск	2,9	- 11,3	10,9
Кишинев	13,4	-2,2	20,6
Кокчетав	9,6	- 15,1	18,3
Комсомольск-на-Амуре	9,3	-20,1	18,3
Кострома	8,2	- 10,7	14,3
Краснодар	14,9	-0,7	22,3
Красноярск	8,0	-15,9	16,7
Кременчуг	12,3	-4,5	20,5
Кривой Рог	13,3	-4,1	20,9
Курган	8,8	- 16,9	17,4
Курган-Тюбе	19,9	3,7	27,3
Курск	10,6	-7,7	18,4
Кутаиси	16,8	6,2	22,8
Липецк	10,9	-8,9	19,0
Луганск	13,3	-5,9	21,2
Луцк	10,9	-3,6	17,8
Львов	9,9	-3,9	16,5
Магадан	2,5	- 19,4	11,1
Магнитогорск	8,6	15,5	17,1
Мариуполь	13,6	-4,1	21,5
Махачкала	16,0	0,8	23,7
Минск	9,5	-5,9	16,8

Населенный пункт	Эквивалентная температура, °С		
	годовая	зимняя*	летняя**
Минусинск	8,8	- 19,3	17,7
Мирный	4,6	-20,1	16,8
Могилев	9,7	-6,5	15,1
Мончегорск	3,8	- 11,3	11,8
Москва	10,1	-8,2	18,0
Мурманск	3,4	-9,5	10,7
Нальчик	13,3	-3,5	20,9
Нарын	8,8	- 14,6	16,2
Нарьян-Мар	2,0	-15,7	10,3
Нахичевань	18,1	- 1,5	25,8
Невинномысск	13,7	-3,4	21,2
Нижний Новгород	8,9	- 10,9	17,1
Нижний Тагил	6,5	- 14,7	14,8
Николаев	14,2	-2,5	21,8
Николаевск-на-Амуре	6,3	-20,0	15,1
Новгород	8,3	-7,6	16,0
Новокузнецк	8,3	- 16,3	17,0
Новороссийск	15,8	3,5	22,7
Новосибирск	8,3	- 17,7	17,2
Норильск	0,7	-20,1	10,5
Одесса	13,8	- 1,8	21,3
Оймякон	2,2	-20,1	12,4
Омск	8,4	- 17,8	17,1
Орел	9,9	-8,4	17,8
Оренбург	12,0	-13,4	20,7
Ош	15,9	-1,6	23,5
Павлодар	10,9	16,7	19,8
Пенза	10,4	-11,0	18,6
Пермь	8,2	-14,3	16,7
Петрозаводск	7,1	-8,8	15,1
Петропавловск	8,8	-17,3	17,5
Петропавловск-Камчатский	5,2	-7,6	11,9
Полтава	12,0	-5,9	19,7
Пржевальск	9,2	-5,9	16,0
Псков	8,8	-6,5	16,3
Пятигорск	13,1	-3,0	20,7
Рига	8,9	-4,8	15,8
Ровно	10,7	-4,1	17,7
Ростов-на-Дону	14,0	-4,6	21,9
Рубцовск	10,1	-16,5	19,0
Рязань	9,6	-9,9	17,7
Самара	11,1	- 12,5	19,6
Самарканд	17,0	1,5	24,4
Санкт- Петербург	8,6	-6,8	16,4
Саранск	10,0	- 10,9	18,3
Саратов	12,5	- 10,6	21,0
Семипалати нск	12,0	- 15,0	20,9
Симферополь	13,7	0,0	20,8
Смоленск	9,0	-7,6	16,5
Советская Гавань	6,5	- 15,4	14,0
Сочи	15,7	5,9	21,9
Ставрополь	13,5	-2,5	20,9
Сумгаит	17,0	4,2	23,9
Сумы	10,9	-6,9	18,5
Сургут	5,6	- 19,9	14,9
Сухуми	16,1	6,5	21,9
Сыктывкар	6,5	- 14,1	15,0
Таганрог	14,4	-4,1	22,4
Тайшет	7,3	- 18,5	16,4

Населенный пункт	Эквивалентная температура, °С		
	годовая	зимняя*	летняя**
Талды-Курган	13,5	- 15,1	21,7
Таллинн	8,2	-4,2	15,3
Тамбов	10,9	-9,5	19,0
Ташкент	17,9	-0,9	25,7
Тбилиси	16,4	2,2	23,5
Темир-Тау	13,3	- 13,4	22,3
Тернополь	10,6	-4,2	17,6
Тобольск	7,8	- 17,0	16,6
Тольятти	11,4	- 11,4	19,8
Томск	7,5	- 17,8	16,4
Туапсе	16,0	5,2	22,4
Тула	9,4	-8,9	17,3
Ужгород	12,9	- 1,1	19,6
Улан-Удэ	8,3	-20,1	17,6
Ульяновск	10,0	- 12,4	18,4
Уральск	12,5	- 12,8	21,3
Уссурийск	10,7	-17,1	19,0
Усть-Каменогорск	11,2	-15,0	19,9
Уфа	9,9	-13,1	18,3
Фергана	18,0	-0,6	25,6
Хабаровск	10,8	- 18,6	19,7
Ханты-Мансийск	6,7	- 18,5	15,8
Харьков	12,1	-6,3	19,8
Херсон	14,2	-2,1	21,8
Хмельницкий	10,7	-4,4	17,8
Целиноград	9,9	-16,3	18,8
Чебоксары	9,1	- 11,9	17,4
Челябинск	9,2	- 14,3	17,8
Череповец	7,7	- 10,2	15,8
Черкассы	11,7	-4,9	19,2
Чернигов	11,1	-5,7	18,5
Черновцы	11,6	-3,6	18,6
Чимкент	17,0	-1,2	25,1
Чита	7,5	-20,1	16,8
Элиста	14,7	-5,4	22,9
Южно-Сахалинск	7,5	- 11,6	15,0
Якутск	6,4	-20,1	16,6
Ярославль	7,9	- 10,6	15,8

* Декабрь, январь, февраль

** Июнь, июль, август

ПРИЛОЖЕНИЕ F
(рекомендуемое)

УТОЧНЕННЫЙ МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕАЛЬНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ

F.1 Исходный, или реальный, график нагрузки трансформатора, подлежащий преобразованию, может быть представлен в виде непрерывной регистрации тока нагрузки или периодическими, но достаточно частыми фиксированными по времени измерениями значений тока нагрузки за суточный интервал времени. При этом суточный интервал подразумевает продолжительность графика 24 ч независимо от времени начала отсчета, которое следует выбирать по характеру суточного изменения нагрузки таким образом, чтобы нагрузка в начале и в конце 24-часового интервала была бы по возможности одинаковой, что удовлетворяет условию повторяемости такого суточного графика.

F.2 Преобразование исходного графика нагрузки трансформатора в суточный, эквивалентный по потерям, двухступенчатый прямоугольный график с представлением нагрузки в долях номинального тока обмотки следует выполнять в соответствии с рисунком F.1 в такой последовательности.

F.2.1 На исходном графике нагрузки трансформатора провести линию номинального тока I_n , она же линия относительной номинальной нагрузки $K = 1$.

F.2.2 В точках *A* и *B* пересечения номинальной линии с кривой исходного графика нагрузки выделить на нем участок перегрузки продолжительностью *h'*.

F.2.3 Оставшуюся часть исходного графика с меньшей нагрузкой разбить на *m* интервалов Δt_j исходя из возможности проведения в каждом интервале линии средней нагрузки, то есть так, чтобы площади участков над и под средней линией были примерно равными, а затем определить значения тока средних линий S_1, S_2, S_m .

F.2.4 Рассчитать начальную нагрузку K_1 эквивалентного графика

$$K_1 = \frac{1}{S_n} \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}} \quad (F.1)$$

F.2.5 Участок перегрузки *h'* на исходном графике нагрузки разбить на *p* интервалов Δh_p исходя из возможности проведения линии средней нагрузки а каждом интервале, а затем определить значения S'_1, S'_2, S'_m .

F.2.6 Рассчитать предварительное превышение перегрузки эквивалентного графика нагрузки

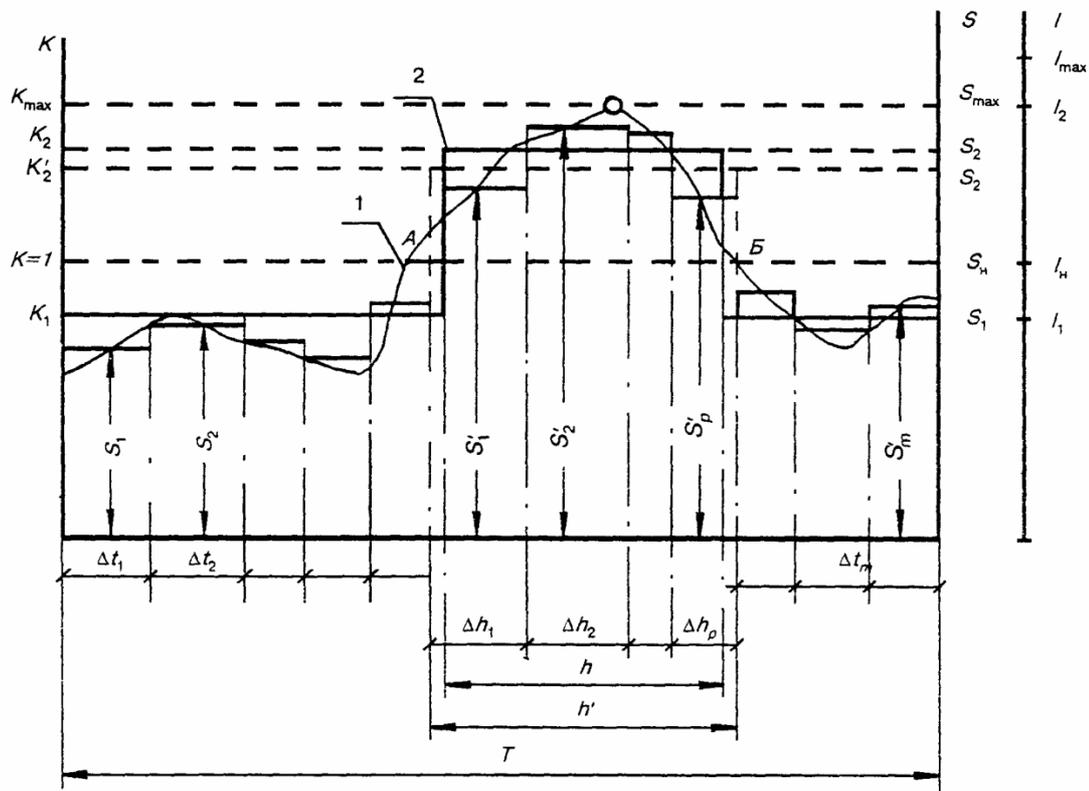
$$K'_2 = \frac{1}{S_n} \sqrt{\frac{(S'_1)^2 \Delta h_1 + (S'_2)^2 \Delta h_2 + \dots + (S'_p)^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}} \quad (F.2)$$

F.2.7 Сравнить значение K'_2 с K_{max} исходного графика нагрузки: если $K'_2 \geq 0,9K_{max}$, следует принять $K_2 = K'_2$ если $K'_2 \leq 0,9K_{max}$, следует принять $K_2 = 0,9 K_{max}$, а продолжительность *h* перегрузки эквивалентного графика нагрузки рассчитать по формуле

$$h = \frac{(K'_2)^2 h'}{(0,9K_{max})^2} \quad (F.3)$$

F.3 Если исходный суточный график нагрузки трансформатора содержит два близких по значению максимума различной продолжительности, значения *h* и K_2 определяются по максимуму большей продолжительности, а значение K_1 - как среднеквадратичное значение остальной нагрузки.

F.4 Если исходный суточный график нагрузки трансформатора содержит несколько последовательных близких максимумов, значения K_2 и *h* определяются из охвата всех максимумов, а значение K_1 - как среднеквадратичное значение оставшейся нагрузки.



1 - исходный график нагрузки,
2 - эквивалентный прямоугольный график нагрузки

Рисунок F.1 - Преобразование исходного графика нагрузки трансформатора в эквивалентный

ПРИЛОЖЕНИЕ Н
(справочное)

УПРОЩЕННЫЕ ТАБЛИЦЫ ДОПУСТИМЫХ АВАРИЙНЫХ ПЕРЕГРУЗОК

Таблица Н.1 - Допустимые аварийные перегрузки без учета предшествующей нагрузки

Продолжительность перегрузки в течение суток, ч	Перегрузка в долях номинального тока, в зависимости от температуры охлаждающей среды во время перегрузки											
	-25°C				-20°C				-10°C			
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD
0,5	2,0	1,8	1,6	1,4	1,9	1,7	1,6	1,5	1,7	1,6	1,5	1,4
1,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,9	1,6	1,5	1,4	1,7	1,5	1,5	1,4
2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,8	1,6	1,5	1,4	1,7	1,5	1,5	1,3
4,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,7	1,6	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4	1,3
8,0	1,7	1,6	1,5	1,4	1,7	1,5	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4	1,3
24,0	1,7	1,6	1,5	1,4	1,6	1,5	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4	1,3

Продолжительность перегрузки в течение суток, ч	Перегрузка в долях номинального тока, в зависимости от температуры охлаждающей среды во время перегрузки											
	0°C				10°C				20°C			
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD
0,5	1,7	1,5	1,4	1,3	1,7	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2
1,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,2
2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	1,3	1,2	1,4	1,3	1,3	1,2
4,0	1,6	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	1,2
8,0	1,6	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	1,2
24,0	1,5	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	1,2

Продолжительность перегрузки в течение суток, ч	Перегрузка в долях номинального тока, в зависимости от температуры охлаждающей среды во время перегрузки											
	30 °C				40 °C							
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD				
0,5	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2				
1,0	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1				
2,0	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1				
4,0	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1				
8,0	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1				
24,0	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1				

Таблица Н.2 - Допустимые аварийные перегрузки без учета предшествующей нагрузки, не превышающей 0,8 номинального тока

Продолжительность перегрузки в течение суток, ч	Перегрузка в долях номинального тока, в зависимости от температуры охлаждающей среды во время перегрузки											
	-25°C				-20°C				-10°C			
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD
0,5	2,0	2,0	1,9	1,7	2,0	2,0	1,8	1,6	2,0	2,0	1,7	1,6
1,0	2,0	2,0	1,7	1,6	2,0	2,0	1,7	1,5	2,0	1,9	1,6	1,5
2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	2,0	1,9	1,6	1,4	1,9	1,8	1,5	1,4
4,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,8	1,6	1,5	1,4	1,7	1,6	1,5	1,3
8,0	1,7	1,6	1,6	1,4	1,7	1,5	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4	1,3-
24,0	1,7	1,5	1,6	1,4	1,7	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3

Продолжительность перегрузки в течение суток, ч	Перегрузка в долях номинального тока, в зависимости от температуры охлаждающей среды во время перегрузки											
	0°C				10°C				20 °C			

	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD
0,5	2,0	2,0	1,7	1,5	2,0	1,9	1,6	1,5	2,0	1,8	1,5	1,4
1,0	2,0	1,8	1,6	1,4	1,9	1,7	1,5	1,4	1,8	1,6	1,4	1,3
2,0	1,9	1,7	1,5	1,3	1,8	1,5	1,4	1,3	1,7	1,5	1,3	1,2
4,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,6	1,4	1,3	1,2	1,5	1,3	1,3	1,2
8,0	1,6	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,3	1,2
24,0	1,5	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,3	1,2

Продолжительность перегрузки в течение суток, ч	Перегрузка в долях номинального тока, в зависимости от температуры охлаждающей среды во время перегрузки							
	30 °С				40 °С			
	ONAN	ON	OF	OD	ONAN	ON	OF	OD
0,5	1,9	1,7	1,4	1,3	1,8	1,6	1,3	1,3
1,0	1,8	1,5	1,3	1,3	1,7	1,4	1,3	1,2
2,0	1,6	1,4	1,2	1,2	1,5	1,3	1,2	1,1
4,0	1,4	1,3	1,2	1,1	1,3	1,2	1,1	1,1
8,0	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1
24,0	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1

ПРИЛОЖЕНИЕ L
(справочное)

**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ НАИБОЛЕЕ НАГРЕТОЙ ТОЧКИ ОБМОТКИ И
ОТНОСИТЕЛЬНОГО ИЗНОСА ВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ
(БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭВМ)**

L.1 Расчеты θ_h и V производятся для суточного двухступенчатого прямоугольного графика нагрузки трансформатора ТМН-6300/10 по исходным значениям его параметров.

L.1.1 Расчет максимального значения θ_h выполняется по формулам раздела 2

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{bt} + H_{qr} K^y = 16,0 + 56,34 + 40,31 = 112,65 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (\text{L.1})$$

где

$$\Delta\theta_{bt} = \Delta\theta_{bi} + (\Delta\theta_{bu} - \Delta\theta_{bi}) (1 - e^{-t/\tau}) \quad (\text{L.2})$$

$$\Delta\theta_{bu} = \Delta\theta_{or} \left[\frac{1 + RK_2^2}{1 + R} \right]^x; \quad (\text{L.3})$$

$$\Delta\theta_{bi} = \Delta\theta_{or} \left[\frac{1 + RK_1^2}{1 + R} \right]^x; \quad (\text{L.4})$$

$$\Delta\theta_{bt} = 55 \left(\frac{1 + 5 \cdot 0,57^2}{1 + 5} \right)^{0,8} + \left[\left(\frac{1 + 5 \cdot 1,42^2}{1 + 5} \right)^{0,8} - \left(\frac{1 + 5 \cdot 0,57^2}{1 + 5} \right)^{0,8} \right] (1 - e^{-2/3,0}) = 56,4$$

$$\Delta\theta_{hk2} = H_{qr} \cdot K^y = 23 \cdot 1,42^{1,6} = 40,31 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{L.5})$$

L.1.2 Аналогично рассчитываются и остальные характерные точки, по которым строится график $\theta_{h(t)}$, приведенный на рисунке L.1.

График содержит три участка:

a - участок неизменной температуры продолжительностью $24 - t - 4 \cdot \tau_0 = 24 - 2 - 4 \cdot 3,0 = 10$ ч;

b - участок повышения температуры продолжительностью $t = 2$ ч;

в - участок снижения температуры продолжительностью $4 \cdot \tau_0 = 4 \cdot 3,0 = 12$ ч.

L.1.3 Относительный износ витковой изоляции V за сутки непрерывной нагрузки является суммой относительных износов V_i по каждому интервалу Δt_i на которые разделяется график $\theta_{h(t)}$.

Участок неизменной температуры принимается за один интервал Δt_1 . Участок повышающейся температуры разделяется на два интервала - Δt_2 и Δt_3 продолжительностью по 1 ч каждый. При этом выполняется условие $(-\Delta t_2 = \Delta t_3) < 0,3\tau_0$.

Участок понижающейся температуры разделяется на пять интервалов, из которых первые два (Δt_4 и Δt_5) имеют продолжительность по 1 ч каждый, следующие два интервала (Δt_6 и Δt_7) - продолжительность по 3 ч каждый и последующий интервал Δt_8 - оставшиеся 6 ч.

Л.1.3.1 В каждом интервале Δt_i проводят горизонтальную линию средней температуры θ_{hi} пересекающую интервал так, чтобы верхняя и нижняя площади, ограничиваемые линией средней температуры и вертикальными интервалами, были примерно равными.

По найденным таким путем значениям θ_{hi} рассчитывают значения V_i :

$$V_1 = \frac{\Delta t_1}{24} 2^{(\theta_{h1}-98)/6} = \frac{8}{24} 2^{(51,49-98)/6} = 0,00155 ;$$

$$V_2 = \frac{\Delta t_2}{24} 2^{(\theta_{h2}-98)/6} = \frac{1}{24} 2^{(92,7-98)/6} = 0,0226 ;$$

$$V_3 = \frac{\Delta t_3}{24} 2^{(\theta_{h3}-98)/6} = \frac{1}{24} 2^{(107,0-98)/6} = 0,118 ;$$

$$V_4 = \frac{\Delta t_4}{24} 2^{(\theta_{h4}-98)/6} = \frac{1}{24} 2^{(78,0-98)/6} = 0,00413 ;$$

$$V_5 = \frac{\Delta t_5}{24} 2^{(\theta_{h5}-98)/6} = \frac{1}{24} 2^{(71,5-98)/6} = 0,00195 ;$$

$$V_6 = \frac{\Delta t_6}{24} 2^{(\theta_{h6}-98)/6} = \frac{3}{24} 2^{(63,4-98)/6} = 0,00230 ;$$

$$V_7 = \frac{\Delta t_7}{24} 2^{(\theta_{h7}-98)/6} = \frac{3}{24} 2^{(56,5-98)/6} = 0,00104 ;$$

$$V_8 = \frac{\Delta t_8}{24} 2^{(\theta_{h8}-98)/6} = \frac{6}{24} 2^{(53,0-98)/6} = 0,00138 .$$

Относительный износ витковой изоляции за сутки непрерывной нагрузки составляет

$$V = \sum_{i=1}^{i=8} V_i = (0,00155 + 0,0226 + 0,118 + 0,00413 + 0,00195 + 0,00230 + 0,00104 + 0,00138) = 0,153$$

«нормальных» суток износа.

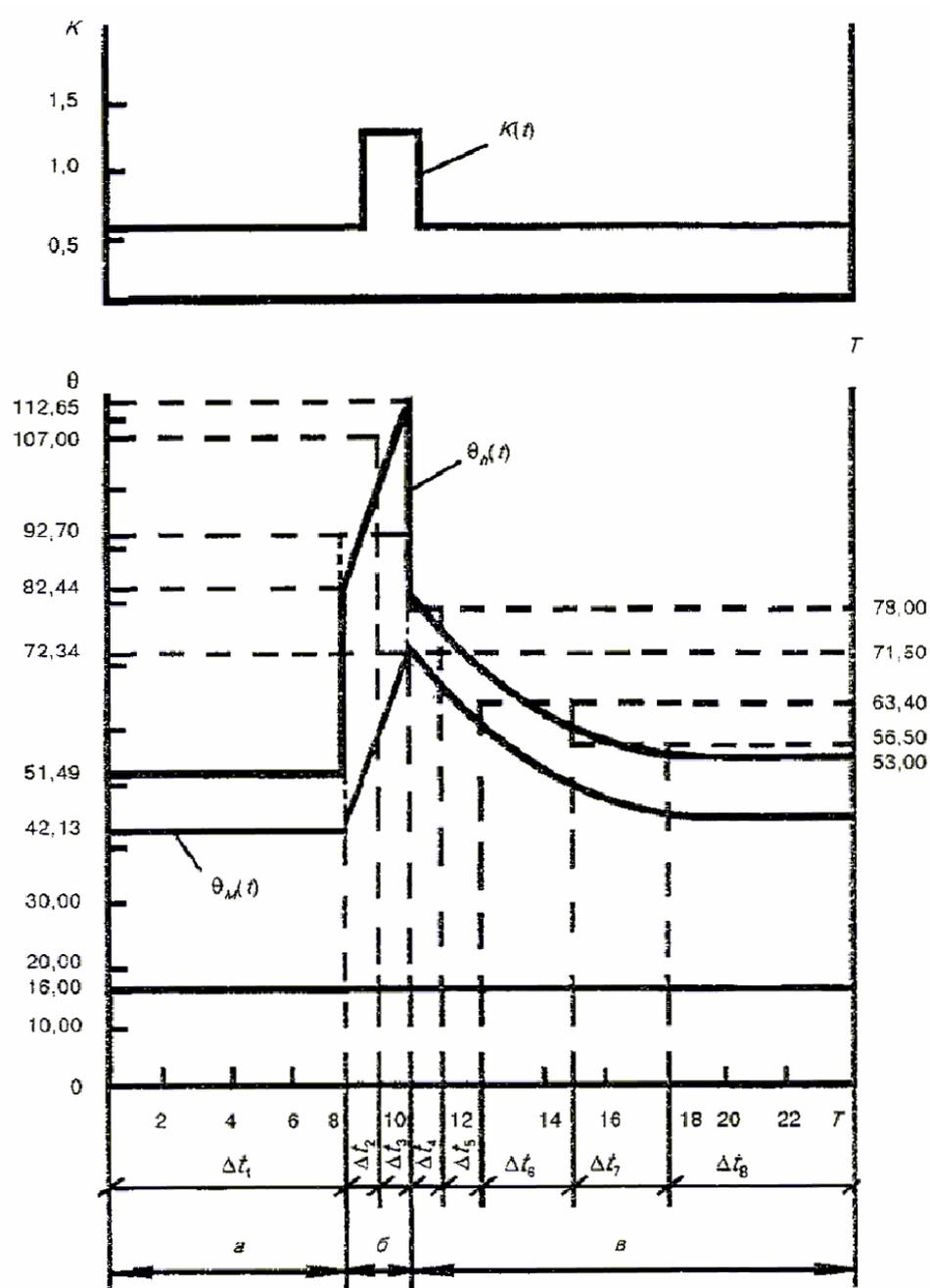


Рисунок L.1 - График нагрузки и соответствующие ему графики изменения температуры

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(рекомендуемое)

ТАБЛИЦЫ ДОПУСТИМЫХ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК С НОРМАЛЬНЫМ
СОКРАЩЕНИЕМ СРОКА СЛУЖБЫ

I.1 В таблицах I.1-I.32 приведены значения K_2 и t для суточного двухступенчатого графика нагрузки (рисунок 4) при различных значениях K_1 и температуры охлаждающей среды, рассчитанные в соответствии с таблицей 2 раздела 2.

I.2 Распределительные трансформаторы с охлаждением *ONAN*

Таблица I.1, $\theta_a - 25^\circ\text{C}$

$t, ч$	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30

<i>t, ч</i>	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
4,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
8,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,48	1,44
24,0	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37

Таблица I.2, $\theta_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
4,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,43
8,0	1,50	1,50	1,50	1,49	1,48	1,47	1,45	1,43	1,37
24,0	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33

Таблица I.3, $\theta_a = -10\text{ }^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
4,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,47	1,39
8,0	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,38	1,36	1,32	1,32
24,0	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

Таблица I.4, $\theta_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46	1,46
4,0	1,50	1,50	1,49	1,47	1,44	1,40	1,33	1,33	1,33
8,0	1,36	1,35	1,33	1,32	1,31	1,29	1,25	1,25	1,25
24,0	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17

Таблица I.5, $\theta_a = 10\text{ }^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,40	1,40	1,40
4,0	1,46	1,43	1,40	1,37	1,33	1,27	1,27	1,27	1,27
8,0	1,27	1,26	1,24	1,23	1,21	1,18	1,18	1,18	1,18
24,0	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09

Таблица I.6, $\theta_a = 20\text{ }^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,49	1,43	1,34	1,30	1,30	1,30	1,30
4,0	1,37	1,34	1,29	1,25	1,19	1,10	1,10	1,10	1,10
8,0	1,18	1,17	1,15	1,13	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
24,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица I.7, $\theta_a = 30\text{ }^\circ\text{C}$

Таблица I.13, $\theta_a = 10\text{ }^\circ\text{C}$

$t, \text{ч}$	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46	1,36
4,0	1,42	1,39	1,36	1,34	1,30	1,24
3,0	1,25	1,24	1,22	1,21	1,19	1,16
24,0	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08

Таблица I.14, $\theta_a = 20\text{ }^\circ\text{C}$

$t, \text{ч}$	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,48	1,00
2,0	1,50	1,50	1,45	1,40	1,31	1,00
4,0	1,34	1,31	1,27	1,23	1,18	1,00
8,0	1,17	1,16	1,14	1,12	1,09	1,00
24,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица I.15, $\theta_a = 30\text{ }^\circ\text{C}$

$t, \text{ч}$	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,25	
1,0	1,50	1,50	1,50	1,42	1,13	
2,0	1,47	1,41	1,33	1,25	1,03	
4,0	1,24	1,21	1,16	1,11	0,97	
8,0	1,08	1,07	1,04	1,02	0,94	
24,0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	

Таблица I.16, $\theta_a = 40\text{ }^\circ\text{C}$

$t, \text{ч}$	K_1				
	0,25	0,50	0,70	0,80	
0,5	1,50	1,50	1,50	1,25	
1,0	1,50	1,50	1,35	1,10	
2,0	1,36	1,29	1,18	0,99	
4,0	1,15	1,11	1,03	0,91	
8,0	0,99	0,97	0,93	0,86	
24,0	0,82	0,82	0,82	0,82	

I.3 Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OF*Таблица I.17, $\theta_a = -25\text{ }^\circ\text{C}$

$t, \text{ч}$	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,48
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,42
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,38
4,0	1,49	1,48	1,47	1,47	1,46	1,46	1,45	1,43	1,35
8,0	1,40	1,40	1,40	1,40	1,39	1,39	1,39	1,37	1,33
24,0	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31

Таблица I.18, $\theta_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$

$t, \text{ч}$	K_1								
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
2,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,49	1,45	
4,0	1,46	1,45	1,44	1,44	1,43	1,42	1,41	1,39	

<i>t, ч</i>	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
8,0	1,37	1,37	1,37	1,36	1,36	1,36	1,35	1,34
24,0	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28

Таблица I.19, $\theta_a = -10^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,41
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,35
2,0	1,50	1,50	1,49	1,48	1,46	1,44	1,41	1,30
4,0	1,39	1,39	1,38	1,37	1,37	1,35	1,34	1,26
8,0	1,31	1,31	1,30	1,30	1,30	1,29	1,28	1,24
24,0	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21

Таблица I.20, $\theta_a = 0^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,45
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46	1,37
2,0	1,46	1,44	1,42	1,41	1,39	1,36	1,36	1,29
4,0	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,28	1,24
8,0	1,24	1,24	1,24	1,23	1,23	1,22	1,22	1,19
24,0	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

Таблица I.21, $\theta_a = 10^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1						
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,44
1,0	1,50	1,50	1,48	1,45	1,41	1,41	1,34
2,0	1,38	1,37	1,34	1,33	1,30	1,30	1,26
4,0	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,22	1,19
8,0	1,17	1,17	1,17	1,15	1,15	1,15	1,14
24,0	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08

Таблица I.22, $\theta_a = 20^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,50	1,50	1,47	1,40	1,01
1,0	1,46	1,43	1,39	1,35	1,30	1,00
2,0	1,31	1,29	1,26	1,24	1,20	1,00
4,0	1,19	1,18	1,16	1,15	1,13	1,00
8,0	1,10	1,10	1,09	1,08	1,07	1,00
24,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица I.23, $\theta_a = 30^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1				
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90
0,5	1,50	1,47	1,41	1,34	1,15
1,0	1,38	1,34	1,29	1,24	1,08
2,0	1,23	1,21	1,17	1,14	1,02
4,0	1,11	1,10	1,08	1,06	0,98
8,0	1,02	1,02	1,01	1,00	0,95
24,0	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92

Таблица I.24, $\theta_a = 40^\circ\text{C}$

<i>t, ч</i>	K_1			
	0,25	0,50	0,70	0,80
0,5	1,42	1,37	1,28	1,13
1,0	1,28	1,24	1,17	1,05

$t, ч$	K_1			
	0,25	0,50	0,70	0,80
2,0	1,14	1,12	1,07	0,97
4,0	1,03	1,01	0,98	0,92
8,0	0,94	0,94	0,92	0,88
24,0	0,83	0,83	0,83	0,83

1.4 Трансформаторы средней и большой мощности с охлаждением *OD*

Таблица I.25, $\theta_a = -25\text{ }^\circ\text{C}$

$t, ч$	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,49
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,49	1,43
2,0	1,50	1,49	1,48	1,46	1,45	1,43	1,41	1,36
4,0	1,39	1,38	1,37	1,37	1,36	1,36	1,35	1,32
8,0	1,32	1,31	1,31	1,31	1,31	1,30	1,30	1,28
24,0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24

Таблица I.26, $\theta_a = -20\text{ }^\circ\text{C}$

$t, ч$	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,41
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46	1,35
2,0	1,48	1,47	1,45	1,44	1,42	1,41	1,38	1,30
4,0	1,36	1,36	1,35	1,35	1,34	1,33	1,32	1,27
8,0	1,29	1,29	1,29	1,29	1,28	1,28	1,27	1,24
24,0	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22

Таблица I.27, $\theta_a = -10\text{ }^\circ\text{C}$

$t, ч$	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,46
1,0	1,50	1,50	1,50	1,50	1,47	1,44	1,44	1,38
2,0	1,43	1,42	1,40	1,38	1,37	1,35	1,35	1,31
4,0	1,32	1,31	1,30	1,30	1,29	1,28	1,28	1,26
8,0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,23	1,23	1,23	1,22
24,0	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17

Таблица I.28, $\theta_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$

$t, ч$	K_1							
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,45	1,45	1,30
1,0	1,50	1,50	1,46	1,44	1,41	1,37	1,37	1,24
2,0	1,38	1,36	1,34	1,33	1,31	1,29	1,29	1,19
4,0	1,26	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,22	1,16
8,0	1,19	1,19	1,19	1,18	1,18	1,17	1,17	1,14
24,0	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11

Таблица I.29, $\theta_a = 10\text{ }^\circ\text{C}$

$t, ч$	K_1						
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20
0,5	1,50	1,50	1,50	1,47	1,43	1,36	1,36
1,0	1,47	1,44	1,40	1,37	1,34	1,28	1,28
2,0	1,32	1,31	1,29	1,27	1,25	1,21	1,21
4,0	1,21	1,20	1,19	1,19	1,18	1,15	1,15
8,0	1,14	1,14	1,13	1,13	1,12	1,11	1,11
24,0	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06

Таблица I.30, $\theta_a = 20\text{ }^\circ\text{C}$

$t, ч$	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,50	1,49	1,44	1,40	1,34	1,00
1,0	1,41	1,38	1,33	1,30	1,26	1,00
2,0	1,27	1,25	1,22	1,20	1,17	1,00
4,0	1,16	1,15	1,14	1,13	1,11	1,00
8,0	1,08	1,08	1,07	1,07	1,06	1,00
24,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица I.31, $\theta_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$

$t, ч$	K_1					
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
0,5	1,46	1,43	1,36	1,31	1,19	1,00
1,0	1,34	1,31	1,26	1,22	1,12	1,00
2,0	1,21	1,19	1,16	1,13	1,05	1,00
4,0	1,10	1,09	1,07	1,06	1,00	1,00
8,0	1,02	1,02	1,01	1,00	0,96	1,00
24,0	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	1,00

Таблица I.32, $\theta_a = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

$t, ч$	K_1				
	0,25	0,50	0,70	0,80	0,90
0,5	1,40	1,35	1,28	1,19	1,00
1,0	1,27	1,24	1,18	1,10	1,00
2,0	1,14	1,12	1,08	1,02	1,00
4,0	1,03	1,02	1,00	0,95	1,00
8,0	0,95	0,95	0,93	0,90	1,00
24,0	0,85	0,85	0,85	0,85	1,00

Ключевые слова: масляный трансформатор, температура охлаждающей среды, аварийная перегрузка, систематическая нагрузка, температура обмотки, износ изоляции, режим нагрузки

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	
1 Общие положения	
1.1 Область применения	
1.2 Назначение	
1.3 Определения	
1.4 Основные ограничения и воздействия режима нагрузок, превышающих номинальные значения	
1.5 Специальные ограничения для распределительных трансформаторов	
1.6 Специальные ограничения для трансформаторов средней мощности	
1.7 Специальные ограничения для трансформаторов большой мощности	
2 Расчет температуры	
2.1 Условные обозначения	
2.2 Непосредственное измерение температуры наиболее нагретой точки	
2.3 Расчетные тепловые характеристики	
2.4 Расчет температуры в установившемся тепловом режиме	
2.5 Расчет температуры в неустановившемся тепловом режиме	
2.6 Термический износ изоляции трансформатора	
2.7 Температура охлаждающей среды	
2.8 Программа машинного расчета	
3 Таблицы допустимых нагрузок	
3.1 Ограничения, принятые в таблицах допустимых нагрузок	
3.2 Метод преобразования реальных суточных графиков нагрузки в эквивалентные им суточные двухступенчатые прямоугольные графики	
3.3 Нормальный продолжительный режим нагрузки	
3.4 Нормальные режимы систематических нагрузок	
3.5 Режим аварийных перегрузок	
Приложение А Эквивалентный номинальный режим автотрансформаторов	
Приложение В Альтернативный метод определения превышения средней температуры масла обмоток по результатам измерений при испытании на нагрев	
Приложение С Сведения, которые предоставляются в запросах и заказах	
Приложение D Определение параметров синусоидального изменения температуры охлаждающей среды	
Приложение Е Пример упрощенного применения руководства по нагрузке силовых масляных трансформаторов	
Приложение G Определение эквивалентной температуры охлаждающей среды	
Приложение F Уточненный метод преобразования реального графика нагрузки	
Приложение H Упрощенные таблицы допустимых аварийных перегрузок	
Приложение L Примеры расчета температуры наиболее нагретой точки обмотки и относительного износа витковой изоляции (без применения ЭВМ)	
Приложение I Таблицы допустимых систематических нагрузок с нормальным сокращением срока службы	