ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДУ ИСПЫТАНИЯ НА НАГРЕВОСТОЙКОСТЬ

ГОСТ 27710—88
(СТ СЭВ 4127—83)

Издание официальное

Цена 20 коп. БЗ 5—88/349



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.315.613.1:006.354 Группа Е39

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ

Общие требования к методу испытания на нагревостойкость

ГОСТ 27710—88
(СТ СЭВ 4127—83)

Electrical insulating materials. General requirements for thermal endurance test method

ОКСТУ 3409

Срок действия с 01.01.89
до 01.01.94

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт устанавливает основные принципы разработки методов испытаний твердых электроизоляционных материалов и их простых сочетаний для оценки нагревостойкости.

1. ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Температурный индекс (ТИ) — характеристика нагревостойкости электроизоляционного материала, численно равная значению температуры в градусах Цельсия, полученному из графика сроков службы при времени срока службы 20000 ч.

1.2. Диапазон нагревостойкости (ДН) — характеристика нагревостойкости электроизоляционного материала, определяемая тремя значениями температур в градусах Цельсия, соответствующими срокам службы 20000 и 5000 ч и нижнего доверительного интервала с вероятностью 95 % для температуры, соответствующей сроку службы 5000 ч.

1.3. Относительный температурный индекс (ОТИ) — температурный индекс неизвестного материала, получаемого из времени, соответствующему признанной эксплуатационной температуре известного материала, при условии, что оба материала подвергаются сравнительным испытаниям согласно принципам, установленным в настоящем стандарте.

Издание официальное Перепечатка воспрещена
© Издательство стандартов, 1988

2. СУЩНОСТЬ МЕТОДА

Метод заключается в определении изменений проверяемых характеристик материалов в процессе ускоренного теплового старения и в оценке на базе проведенных испытаний характеристик нагревостойкости.

3. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

3.1. Методы испытаний, приведенные в настоящем стандарте, позволяют определить изменение характеристик электроизоляционных материалов и их простых сочетаний в процессе длительного теплового старения.

Результаты испытаний позволяют проводить сравнение материалов с целью отбора их для дальнейшей оценки в изоляционной системе.

3.2. Испытание, насколько возможно, должно имитировать функцию материала в реальных условиях эксплуатации действительной работы. Свойство, контролируемое при испытании, должно соответствовать требованиям условий эксплуатации.

3.3. Испытания должны проводиться в следующей последовательности:

1) выбор проверяемых характеристик;

2) выбор критериев конечной точки для этих характеристик;

3) изготовление необходимых образцов;

4) определение исходных уровней проверяемых характеристик (при необходимости);

5) проведение ускоренного старения образцов, по крайней мере, при трех повышенных температурах либо непрерывно, либо периодами — циклами, между которыми образцы охлаждаются до комнатной температуры;

6) периодический контроль состояния образцов путем определения проверяемой характеристики и изображение результатов испытаний в виде графика срока службы;

7) определение расчетным путем температурного индекса и диапазона нагревостойкости из графика срока службы.

3.4. Критерий конечной точки должен характеризовать степень разрушения материала, которая снижает его способность выдерживать нагрузки, возникающие в реальных условиях эксплуатации системы изоляции. При этом степень разрушения, определяемая критерием конечной точки, должна быть согласована с допустимым в условиях эксплуатации уровнем проверяемой характеристики. Критерий конечной точки должен быть выбран так, чтобы получались не слишком короткие (заниженные) промежутки времени до выхода материала из строя.

Критерий конечной точки определяют двумя способами:

1) процентное повышение или снижение измеряемого параметра по отношению к исходному. Этот способ позволяет сравнивать материалы, но он менее связан, чем метод 2), с допустимым уровнем свойства для обеспечения работоспособности материала*. За исходное значение параметра принимают (если особо не оговорены иные условия) среднее арифметическое результатов испытаний не менее 10 образцов, подвергнутых термообработке при наименьшей температуре старения в течение 48 ч;

2) фиксированное значение параметра выбирается исходя из требований, предъявляемых условиями эксплуатации.

Рекомендации по выбору критериев конечной точки даны в приложении 1.

3.5. Испытываемые образцы должны подвергать действию не менее трех температур старения в достаточно широком диапазоне, необходимом для надежного определения диапазона нагревостойкости или температурного индекса. Испытательные температуры выбираются таким образом, чтобы при самой низкой температуре срок службы был не менее 5000 ч и при самой высокой температуре не менее 100 ч. Испытательные температуры выбирают обыкновенно с интервалом 20 °С. Если это приводит при более высоких из выбранных испытательных температур к короткому времени до достижения критерия или к превышению точки плавления или размягчения материала, или к изменению механизма старения, то интервал между температурами может быть уменьшен до 10 °С. Экстраполяция для определения диапазона на нагревостойкость или температурного индекса не должна превышать 25 °С.

Выбор испытательных температур предполагает знание приблизительного значения температурного диапазона, в котором находится температурный индекс испытываемого материала. Для неизвестного материала необходимо провести предварительные исследования, которые позволяют выбрать наилучшим образом температурные старения. Температурные области плавления, кристаллизации могут быть определены с помощью методов термического анализа или другим подходящим способом.

3.6. Предпочтительные температуры старения и соответствующие им длительности цикла приведены в табл. 1.

---

* Выбор критерия конечной точки, основанный на произвольном процентном изменении измеряемого параметра, относительно его исходного значения, может привести к неправильной отбраковке материалов с высоким начальным значением, когда они сравниваются с материалами, имеющими более низкие исходные значения этого параметра.

4. ОБРАЗЦЫ

4.1. Количество, форма, размеры и метод подготовки испытываемых образцов должны соответствовать установленным в стандартах на конкретный вид материала.

Методы испытаний должны содержать указания по подготовке образцов и, в случае необходимости, должны прилагаться рисунки, чертежи и фотографии образцов.

Рекомендуемые виды и размеры образцов приведены в приложении 1, табл. 3.

4.2. При определении числа испытываемых образцов следует руководствоваться заданной степенью надежности с учетом рассеяния результатов испытаний при каждой отдельной температуре старения.

Таблица 1

Температура, °С														
Температура старения для диапазона температур, в которых находятся предполагаемые температуры, соответствующие сроку службы образцов 20000 ч														Длительность одного цикла, сут
От 100 до 109	От 110 до 119	От 120 до 129	От 130 до 139	От 140 до 149	От 150 до 159	От 160 до 169	От 170 до 179	От 180 до 189	От 190 до 199	От 200 до 209	От 210 до 219	От 220 до 229	От 230 до 239	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	1
160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	2
150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	4
140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	7
130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	14
120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	28
110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	49

Примечание. На основе опыта проведения испытаний с аналогичными материалами или же после проведения предварительных испытаний, например, критерий конечной точки будет достигнут при температуре 145 °С после 20000 ч. Из табл. 1 выбирают температуру старения 160, 180 и 200 °С и им соответствующие длительности циклов 28,7 и 2 сут.

4.3. Размеры и форма испытываемых образцов должны, по возможности, соответствовать практическому использованию материала. Однако, так как электроизоляционные материалы имеют различное применение и подвергаются действию целого комплекса нагрузок и окружающих условий, часто используются образцы, применяемые при стандартных методах испытаний. Так как результаты испытаний материалов разной толщины не всегда можно сравнить, толщина образцов должна соответствовать установленной в стандарте на конкретный метод испытания.

5. АППАРАТУРА

5.1. В термостатах, применяемых для теплового старения, должна быть принудительная циркуляция воздуха. Количество и скорость циркулирующего воздуха должны быть такими, чтобы в течение 1 ч на 1 м^2 поверхности образцов поменялся почти весь объем воздуха. Отклонение температуры от заданного значения не должно превышать ± 2 °С при температурах до 180 °С включительно и ± 3 °С при температурах свыше 180 °С. Температура воздуха в термостате должна измеряться в непосредственной близости от образцов при установившемся режиме и считаться температурой образца. Для того, чтобы уменьшить влияние неравномерности распределения температуры в термостате на образцы, рекомендуется после каждого цикла или отбора менять их положение.

Примечание. Если образцы перемещаются после каждого цикла и учитываются все изменения в их расположении, это позволяет улучшить интерпретацию результатов испытаний, даже если распределение температур в термостате корректируется в процессе испытания.

5.2. Допускается проводить старение образцов, помещенных в закрытые ампулы (контейнеры), содержащие воздух, инертный газ, жидкость или другие вещества, если это устанавливает стандарт на конкретный вид материала.

6. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Тепловое старение должно проводиться при 3 и более повышенных температурах цикличности, либо непрерывно до определенного изменения проверяемой характеристики (достижения критерия конечной точки), или до разрушения образцов.

6.1. Циклическое старение

Образцы помещают в термостат, заранее нагретый до испытательной температуры, и по истечении установленного времени старения вынимают из термостата и оставляют приблизительно на 2 ч в комнатной среде по ГОСТ 6433.1—71, если в стандарте на конкретный вид материала нет других указаний.

После охлаждения на всех образцах проводят измерение проверяемой характеристики и неповрежденные образцы возвращают в термостат для дальнейшего старения. При соответствующих указаниях в стандарте на конкретный вид материала образцы после охлаждения, перед измерением проверяемой характеристики, могут подвергаться механическим или электрическим нагрузкам, воздействию влаги и других факторов. Такие циклы повторяют до достижения критерия конечной точки проверяемой характеристики.

Продолжительность отдельных циклов выбирают так, чтобы при каждой температуре старения число циклов до достижения критерия конечной точки было приблизительно одинаковым. В этом случае образцы подвергаются при каждой температуре старения приблизительно одинаковому количеству испытательных воздействий.

Рекомендуется выбирать температуру и продолжительность циклов старения так, чтобы образцы подвергались приблизительно 10 циклам.

6.2. Непрерывное старение

Образцы помещают в термостат, нагретый до испытательной температуры. По истечении установленного времени определенное количество образцов извлекают из термостата и 2 ч выдерживают в комнатной среде по ГОСТ 6433.1—71, если в стандарте на конкретный вид материала не указано иначе. После охлаждения на образцах проводят измерение проверяемой характеристики. При необходимости после охлаждения, перед измерением проверяемой характеристики, образцы могут подвергаться механическим и электрическим нагрузкам, воздействию влаги или другим нагрузкам. Проверенные образцы не подвергают дальнейшему старению. Этот способ старения особенно целесообразен, когда измерение проверяемой характеристики сопровождается разрушением образцов.

Если испытанию подвергают неизвестный материал, не имея о нем предварительных информаций, процесс следует начинать старением половины количества образцов при каждой температуре, и проводить измерения проверяемой характеристики после удлинения интервала времени старения, например, после каждого второго или третьего цикла по табл. 1. После получения нескольких результатов при различных сроках старения помещают оставшиеся образцы в термостат и старение этих образцов определяют по кривой старения, дополняя результатами их испытаний в зоне критерия конечной точки с целью надежного определения срока службы.

Интервалы старения образцов следует выбирать так, чтобы получить максимальное количество информаций. Во многих случаях целесообразно, чтобы продолжительность старения возрастала в линейной прогрессии в соответствии с табл. 1.

Если целью испытаний является показать, что время разрушения материала превышает заданное, то следует применять только этот способ. Если целесообразно использовать геометрический закон распределения интервалов старения, рекомендуется исходить из ряда: 1, 2, 4, 7, 14, 28, 56, 112 и 182 сут.

7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

7.1. Определение времени достижения критерия конечной точки из графика сроков службы

7.1.1. При непрерывном измерении проверяемой характеристики время до разрушения каждого образца получают прямо из зарегистрированных величин в виде времени, за которое проверяемая характеристика достигает критерия конечной точки.

7.1.2. При циклическом старении, когда значение проверяемой характеристики определяют с помощью неразрушаемых испытаний, через определенные интервалы времени старения, зависимость проверяемой характеристики от времени старения изображают графически. Время до разрушения каждого образца определяют по графику, как время, за которое проверяемая характеристика этого образца достигает критерия конечной точки.

7.1.3. Время до разрушения каждого образца определяют как среднее из двух времен старения, после которого образец вперные не выдерживает проверочного испытания, и времени старения до непосредственно предшествующего разрушенного контрольного испытания, то есть за время до разрушения принимают среднюю точку последнего цикла, воздействию которого подвергают образец.

7.1.4. В случае одного определения на каждом образце строится график зависимости характеристик от времени старения для каждой температуры и проводят линию наилучшего совпадения со всеми экспериментальными точками в четырех сроках старения, после которых результаты испытаний близки к точке пересечения линии наилучшего совпадения с линией критерия конечной точки. Через точки, соответствующие результатам испытаний отдельных образцов, проводят линии, параллельные линии наилучшего совпадения. Абсциссы точек пересечения этих линий с линией критерия конечной точки принимают за периоды времени до разрушения образцов.

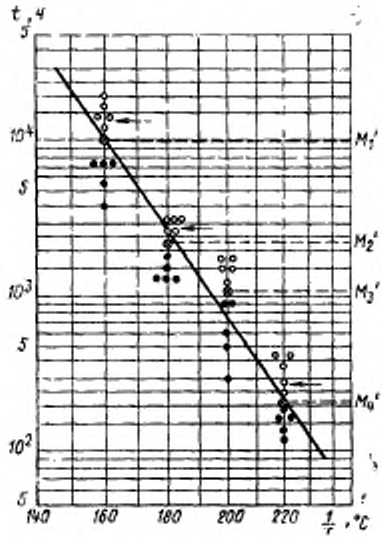
7.1.5. После циклического старения по п. 6.1 для построения графика сроков службы применяют медиану M значений времени t до разрушения отдельных образцов, которую определяют:

1) при четном числе образцов — как среднее арифметическое значение до достижения критерия конечной точки образцов с порядковыми номерами $\frac{n}{2}$ и $\frac{n}{2}+1$;

2) при нечетном числе образцов — как время до достижения критерия образца порядковым номером $\frac{n+1}{2}$, где n — общее количество образцов при одной температуре старения в соответствии с черт. 1.

Примечание. Приведенный способ позволяет сократить испытания после достижения критерия конечной точки с порядковым номером $\frac{n}{2}+1$ или $\frac{n+1}{2}$. Испытания заканчивают, потому что время достижения критерия конечной точки других образцов не оказывает влияния на построение графика сроков службы.

Способ определения медианы срока службы образцов *M* при циклическом старении образцов



M_1 и M_4, ⊗ — медианы сроков службы образцов;

◑ — сроки службы образцов под медианой;

○ — сроки службы образцов над медианой;

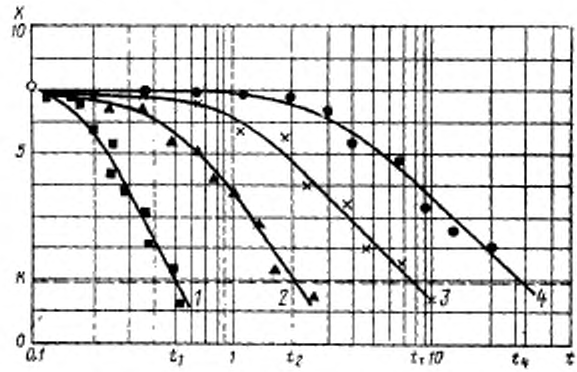
← — при этом времени можно закончить испытания старения

Черт. 1

7.1.6. При непрерывном старении по п. 6.2, где испытание имеет характер деструкции, для построения графика срока службы

применяют среднее значение сроков службы образцов t в соответствии с черт. 2, которое определяют из кривой старения, построенной по средним величинам.

Способ определения среднего срока службы образцов t_1—t_4 из кривых старения при непрерывном старении



1—4 — кривые старения образцов относительно проверяемой характеристики при четырех температурах старения;

■ ● × ▲ — средние значения проверяемой характеристики после отдельных сроков старения;

О — уровень проверяемой характеристики перед старением;

t_1—t_4 — средний срок службы образцов;

X — проверяемая характеристика;

t — время старения;

K — критерий конечной точки

Черт. 2

7.2. Определение температурного индекса

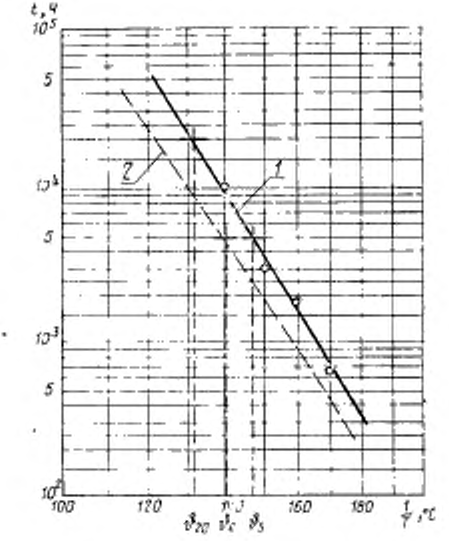
7.2.1. Температурный индекс (ТИ) для 20000 ч определяют из графика сроков службы в соответствии с черт. 3 и записывают в форме ТИ: ϑ_{20} (например, ТИ: 132).

Если ТИ устанавливают для другого срока службы, то его записывают в форме $ТИ_{5000}/\vartheta_5$ (например, $ТИ_{5000}/148$, где 5000 — срок службы 5000 ч, для которого ТИ установлен).

7.2.2. Для определения относительного температурного индекса (ОТИ) проводят сравнительные испытания нового и известного в эксплуатации материала при старении в одних термостатах, строят графики сроков службы обоих материалов на одном листе. На графике известного материала определяют время, соответствующее его признанной эксплуатационной температуре, и относительно этого времени определяют температурный индекс второго

материала. Относительный температурный индекс записывают в форме ОТИ/θ (например, ОТИ/141).

График срока службы эмаль-провода



ТИ: 132
ДН: 132/148 (140)
1 —определенный график сроков службы; *2*—нижняя граница доверительного интервала с вероятностью 95 %. ○ —измеренные величины срока службы; ϑ_{20}—нагревостойкость при сроке службы 20000 ч; ϑ_5—нагревостойкость при сроке службы 5000 ч, ϑ_c—нагревостойкость на нижней границе доверительного интервала с вероятностью 95 % для 5000 ч

Черт. 3

7.3. Определение диапазона нагревостойкости

7.3.1. Перед расчетом диапазона нагревостойкости (ДН) необходимо проверить статистическую однородность результатов с помощью коэффициента вариации времени (C_v), в процентах, соответствующего точке на линии со сроком службы 5000 ч по формуле

$$C_v = \frac{s_y \cdot 100}{\lg 5000} = \frac{s_y}{3{,}7} \cdot 100, \qquad (1)$$

где S_y^2 — дисперсия (рассеяние) величины логарифма времени, соответствующего на графике срока службы температуре со сроком службы 5000 ч.

7.3.2. Если величина C_v более 1,5 %, она может быть снижена с использованием результатов дополнительных испытаний, проведенных при одном из следующих условий:

1) увеличить количество испытываемых образцов при каждой из испытательных температур;

2) провести дополнительные испытания при одной или нескольких температурах, которые должны быть ниже температур, использованных для старения в начале испытаний;

3) уточнить обработку экспериментальных результатов посредством высшей степени регрессионного анализа.

Если величина коэффициента вариации C_v более 1,5 %, ДН не определяют. Определяют только ТИ и значение C_v вносят в протокол.

Диапазон нагревостойкости определяют из графика сроков службы в соответствии с черт. 3 и записывают в форме ДН: θ_{20}/θ_5 (θ_c), например, ДН: 132/148 (140).

7.3.3. Методы расчетов диапазонов нагревостойкости приведены в приложении 2.

Температура, соответствующая сроку службы 5000 ч (θ_5, является основной для сравнения экспериментальных данных без экстраполяции. Температура, соответствующая сроку службы 20 000 ч (θ_{20}), является основой для сравнения данных экстраполяции.

Значение температуры, соответствующее сроку службы 5000 ч на нижней границе ее доверительного интервала с вероятностью 95 % рассеяния, дает представление о рассеянии измеренных величин.

ДН является главной информацией нагревостойкости, а величина ТИ — лишь дополнительной сокращенной формой.

8. ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ

Протокол испытания должен содержать:

1) маркировку материалов, описание образца, описание испытываемого материала (в том числе эталонного материала — если определяется ОТИ);

2) проверяемую характеристику;

3) метод проверочных испытаний;

4) критерий конечной точки;

5) график сроков службы в координатах логарифма времени и величины, обратной температуре ($\lg t$; 1/T);

6) способ определения ТИ и его величины;

7) способ определения ДН и его величины;

8) количество испытываемых образцов;

9) время достижения критерия конечной точки;

10) уравнение регрессии в виде $\lg t = a + \frac{b}{T}$ с приведением коэффициентов a, b;

11) коэффициент вариации C_v.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Обязательное

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ И ИСПЫТАНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРЕВОСТОЙКОСТИ

1. Общие сведения

Для каждого конкретного материала может быть установлено несколько диапазонов нагревостойкости и температурных индексов в соответствии с выбранным свойством и критерием конечной точки. Поэтому важно иметь стандартизированные методы испытаний для оценки различных свойств данного материала или материалов одного типа. Это позволяет проводить сравнения по нагревостойкости материалов различного производства и аналогичных материалов одного типа. Это дает также возможность потребителю выбрать наиболее перспективные материалы для последующей оценки в электроизоляционной системе. В табл. 2 дана классификация различных типов материалов по их физическому состоянию и указано, какие испытания, приведенные в табл. 3, могут быть использованы для определения температурного индекса и диапазона нагревостойкости.

Таблица 2

Тип материала			Проверяемая характеристика	Условное обозначение метода испытания по табл. 3
Твердые изоляционные материалы, не подвергающиеся изменениям в течение их применения	Материалы не определенной формы	Формующиеся мягкие массы, порошки, чешуйки волокна	—	

Продолжение табл. 2

Тип материала			Проверяемая характеристика	Условное обозначение метода испытания по табл. 3
Твердые изоляционные материалы, не подвергающиеся изменениям в течение их применения	Твердые волокнистые материалы	Шнуры и жгуты	Прочность при разрыве	2.1.1
		Пропитанные шнуры и жгуты	Относительное удлинение	2.1.1
	Твердые листовые материалы	Неорганические листовые материалы (слюды)		
		Пленки и листы	Потеря массы	3.1.1
			Прочность при разрыве	2.1.2
			Относительное удлинение	2.2.2
		Бумаги, картоны и т. п.	Пробивное напряжение	1.1.1
			Прочность при разрыве	2.1.3
			Сопротивление раздиру	2.3.1
			Сопротивление продавливанию	2.4.1
			Вискозиметрическая степень полимеризации	3.2.1

Продолжение табл. 2

Тип материала			Проверяемая характеристика	Условное обозначение места испытания по табл. 3
Твердые изоляционные материалы, не подвергающиеся изменениям в течение их применения	Твердые листовые материалы	Ткани и аналогичные материалы	—	
		Бумаги и ткани, пропитанные или лакированные	Прочность при разрыве	2.1.2
			Сопротивление раздиру	2.3.2
			Пробивное напряжение	1.1.1
		Композиционные листовые материалы (пазовая изоляция и т. п.)	Прочность при разрыве	2.1.3
			Сопротивление раздиру[1]	2.3.1
			Пробивное напряжение	1.1.1
		Неорганические материалы (керамика, стекло и т. п.)	—	
		Термореактивные пресс-массы	Потеря массы	3.1.2
			Прочность при изгибе	2.5.1
			Пробивное напряжение	1.1.2

Продолжение табл. 2

Тип материала			Проверяемая характеристика	Условное обозначение метода испытания по табл. 3
Твердые изоляционные материалы, не подвергающиеся изменениям в течение их применения	Твердые неслоистые материалы	Термопластичные пресс-массы	Пробивное напряжение[2]	1.1.2
			Прочность при разрыве[3]	2.1.1
			Прочность при изгибе[4]	2.5.1
			Ударная вязкость[4]	2.9.1
			Ударная энергия при разрыве[3]	2.9.2
		Эластомеры (вулканизированный каучук и т. п.)	Прочность при разрыве	2.1.4
			Относительное удлинение	2.2.3
			Твердость	2.6.1
			Пробивное напряжение	1.1.3
		Другие неслоистые материалы	–	
Твердые изоляционные материалы, не подвергающиеся изменениям в течение их применения	Твердые слоистые материалы	Слоистые пластики	Потеря массы	3.1.2
			Прочность при изгибе	2.5.1
			Пробивное напряжение	1.1.4

Продолжение табл. 2

Тип материала			Проверяемая характеристика	Условное обозначение метода испытаний по табл. 3
Твердые листовые изоляционные материалы для намотки или наслоения, полученные склейкой отдельных взаимно перекрытых слоев	Твердые листовые материалы, склеиваемые чувствительные к давлению связующих при нормальной или другой применяемой температуре	Пленки, бумаги, ткани и композиционные материалы с липким слоем	Потеря массы	3.1.4
			Адгезия к подложке	2.7.1
			Пробивное напряжение	1.1.5
	Твердые листовые материалы, склеенные при нагреве	Пленки, склеенные при нагреве	—	
		Бумаги и ткани, склеенные при нагреве	—	
		Композиционные листовые материалы, склеенные при нагреве (главным образом слюдяные материалы)	—	
Твердые листовые изоляционные материалы для намотки или наслоения, полученные склейкой отдельных взаимно перекрытых слоев	Твердые листовые материалы, склеенные при нагреве с помощью связующего, содержащего растворитель	Композиционные материалы, содержащие растворитель (главным образом слюдяные материалы)	—	
	Твердые листовые материалы, склеенные простым плавлением	Пленки и листы, склеенные простым плавлением	Потеря массы	3.1.5
			Адгезия к подложке	2.7.1
			Пробивное напряжение	1.1.1

Продолжение табл. 2

Тип материала				Проверяемая характеристика	Условное обозначение метода испытания по табл. 3
	Листовые материалы, склеенные с помощью плавления и химической реакции	Пленки и листы, склеенные с помощью плавления и химической реакции		—	
Изоляционные материалы, применяющиеся в виде жидкостей или паст для заполнения пустот, лакировки или склеивания и переходящие в твердое состояние после окончательной обработки	Материалы, отверждающиеся за счет физических превращений (охлаждения, испарения растворителя или гелеобразования)	Плавкие материалы без наполнителя, переходящие в жидкое состояние при нагреве		—	
		Плавкие материалы с наполнителем, переходящие в жидкое состояние при нагреве		—	
	Материалы отверждающие за счет химической реакции (полимеризации, поликонденсации или аддитивной полимеризации)	Пигментированные и непигментированные, термореактивные смолы, без растворителя	Покрывные смолы	Потеря массы	3.1.6
				Цементирующая способность	2.8.1
				Цементирующая способность	2.8.2
				Электрическая прочность	1.2.1
				Электрическая прочность	1.2.2
			Литьевые смолы	Потеря массы	3.1.2
				Прочность при изгибе	2.5.1
				Пробивное напряжение	1.1.2

Продолжение табл. 2

Тип материала			Проверяемая характеристика	Условное обозначение метода испытания по табл. 3
Изоляционные материалы, применяющиеся в виде жидкостей или паст для заполнения пустот, лакировки или оклеивания и переходящие в твердое состояние после окончательной обработки	Материалы, отверждающиеся за счет химической реакции (полимеризации, поликонденсации или аддитивной полимеризации)	Отверждающиеся пастообразные материалы, без растворителя (мастики и цементы)	—	
	Материалы, отверждаемые за счет физических и химических превращений (испарения растворителя с последующим окислением, полимеризацией, поликонденсацией или аддитивной полимеризацией)	Непигментированные и пигментированные изоляционные лаки, отверждаемые за счет испарения растворителя и химической реакции	Потеря массы	3.1.6
			Цементирующая способность	2.8.1
			Цементирующая способность	2.8.2
			Электрическая прочность	1.2.1
			Электрическая прочность	1.2.2
		Лаки для обмоточных проводов	Электрическая прочность	1.2.3
		Клеи и мастики, отверждаемые испарением растворителя и химической реакцией	—	

[1] При испытании произойдет полное разрушение листа композиционного материала.

[2] Если наблюдается значительное уменьшение толщины образца (например, из-за термопластичного течения), испытание считается недействительным.

[3] Не рекомендуется для армированных материалов.

[4] Рекомендуется для армированных материалов.

Таблица 3

Условное обозначение метода испытания	Проверяемая характеристика	Метод испытания	Вид и размеры испытуемых образцов, мм 1), 2)	Критерий конечной точки 3)
1.1 1.1.1	Пробивное напряжение	По ГОСТ 6433.3—71	Не менее 150×150	50 %
1.1.2			—	
1.1.3			—	
1.1.4		По ГОСТ 27712—88	150×150	
1.1.5		По ГОСТ 6433.3—71	Стержень длины 200, изолированный лентой	От 1,0 до 2,5 кВ
1.2 1.2.1	Электрическая прочность	По ГОСТ 27711—88	Стеклоткань, пропитанная лаком	12 кВ/мм
1.2.2		По ГОСТ 6433.3—71	Стеклоткань, пропитанная лаком	50 %
1.2.3		—	Крученые пары	12 кВ/мм или 50 %
2.1 2.1.1	Прочность при разрыве	По ГОСТ 11262—80	Тип 1	50 %
1.1.2		—	15×200	
2.1.3			15×180	
2.1.4			—	
2.2 2.2.1	Относительное удлинение	По ГОСТ 11262—80	Тип 1	50 %
2.2.2		—	15×200	2 % остаточного удлинения
2.2.3		По ГОСТ 270—75	—	—
2.3 2.3.1	Сопротивление раздиру	По ГОСТ 13525.3—78	100×65	50 %
2.3.2		—	100×65	
2.4 2.4.1	Сопротивление продавливанию	—	Диаметр более 70	50 %

Продолжение табл. 3

Условное обозначение метода испытания	Проверяемая характеристика	Метод испытания	Вид и размеры испытуемых образцов, мм[1], [2]	Критерий конечной точки[3]
2.5 2.5.1	Прочность при изгибе	По ГОСТ 4648—71 и ГОСТ 27712—88	80×10×4	50 %
2.6 2.6.1	Твердость	По ГОСТ 263—75	—	—
2.7 2.7.1	Адгезия к подложке	—	—	—
2.8 2.8.1	Цементирующая способность	По ГОСТ 27711—88	Спиральные катушки	50 %
2.8.2		—	—	—
2.9 2.9.1	Стойкость к ударным нагрузкам	По ГОСТ 4647—80	6×4×50	50 %
2.9.2		—	—	
3.1 3.1.1	Потеря массы[4]	—	100×100	5 %
3.1.2		По ГОСТ 27712—88	50×50×3	10 %[3]
3.1.3		—	50×50×3	5 %
3.1.4			Лента длины 100	10 или 20 %
3.1.5			100×100	10 %
3.1.6		По ГОСТ 27711—88	Стеклолакоткань 100×100	25 %
3.2 3.2.1	Вязкозиметрическая степень полимеризации	—	Приблизительно 2g	25 %

[1] Если толщина испытуемого образца не регламентирована, она должна быть указана в протоколе испытаний.

[2] При отсутствии специальных указаний, исходный уровень характеристик определяют не менее чем на 10 образцах, термообработанных при наименьшей температуре старения в течение 48 ч (см. п. 3.4).

[3] При отсутствии дополнительных указаний, величины выражены в процентах, представляют остаточную величину характеристики в отношении к исходной.

[4] Данные по потерям массы могут быть использованы для сравнения материалов аналогичного состава и в качестве проверки однородности партий ма-

териалов одного состава, но не используются для установления температурных индексов или диапазонов нагревостойкости.

[5] Относится к органической части материала (определяемый выжиганием при 500 °С).

Методы испытаний должны соответствовать стандартам на конкретные виды материалов. Для отдельных видов материалов или для особых случаев применения допустимо использование других методов испытаний или других критериев конечной точки, которые позволяют получить дополнительную или более достоверную информацию. В этом случае необходимо, чтобы вся информация относительно метода и цели испытания была внесена в стандарт на конкретный вид материала или в протокол испытания. В табл. 2 приводятся рекомендуемые значения критериев конечной точки для всех проверяемых характеристик. Критерий конечной точки должен быть указан в стандарте на конкретный вид материала

2. Руководство по применению табл. 2 и 3

В табл. 2 находят группу материалов, включающую испытуемый материал. Из проверяемых характеристик, рекомендуемых для данной группы в соответствии со ссылкой, в последней колонке таблицы определяются по табл. 3 методы испытаний, вид и размеры испытываемых образцов и критерии конечной точки.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Обязательное

РАСЧЕТ ДИАПАЗОНОВ НАГРЕВОСТОЙКОСТИ

1. Область распространения

В настоящем приложении даны подробные инструкции по расчету диапазонов нагревостойкости с применением статистических методов.

В процессе расчетов статистические переменные сопоставляются с табличными величинами, приведенными в табл. 6 и 7.

Примеры охватывают три случая:

Пример 1. Непрерывные измерения.

Пример 2. Циклическое проведение проверочных испытаний.

Пример 3. Разрушающие испытания.

2. Общие положения

В основе статистических методов лежат следующие допущения:

1) наблюдаемые величины времени до разрушения образцов стохастически независимы.

Образцы для испытания на старение выбирают произвольно из исследуемого множества и обрабатывают одинаково;

2) логарифм времени до разрушения образцов имеет нормальное распределение с одинаковой дисперсией при всех температурах;

3) логарифм времени до разрушения образцов линейно зависит от величины обратной термодинамической температуры старения (уравнение Аррениуса), по крайней мере, во всем диапазоне, включающем все испытательные и экстраполируемые точки;

4) температура старения имеет незначительную погрешность и одинакова для всех образцов, одновременно подвергающихся тепловому воздействию.

3. Методы и результаты испытаний

Чтобы определить диапазон нагревостойкости (ДН) электроизоляционного материала в соответствии с заданным критерием конечной точки, необходимо определенное количество образцов подвергнуть циклически или непрерывно воздействию каждой из серии выбранных температур и определить время до разрушения образцов при каждой температуре.

Температуры выбирают согласно требованиям данного стандарта. Способ определения времени до разрушения, когда проверяемая характеристика достигнет уровня критерия конечной точки, зависит от метода испытания.

3.1 Повторяющиеся испытания

Каждый образец периодически испытывают во время старения либо путем непрерывного измерения проверяемой характеристики, либо путем применения определенного контрольного воздействия в определенные периоды времени.

Если проверяемую характеристику измеряют непрерывно, время до разрушения каждого образца получают непосредственно из измерений в виде времени, за которое эта характеристика достигает критерия конечной точки.

Это относится ко всем случаям, когда характеристику измеряют непрерывно или достаточно часто во время старения путем испытания без разрушения образцов.

Если характеристику измеряют через определенные интервалы времени старения, то зависимость этой характеристики свойства (или некоторой функции ее) от времени (или функции времени) старения изображают графически. Время до разрушения каждого образца определяют по графику, как время, за которое характеристика этого образца достигает уровня критерия конечной точки.

Эта методика применима при непрерывном и циклическом старении, когда характеристику определяют с помощью неразрушающих измерений через длительные интервалы времени (например, в конце циклов старения). В некоторых случаях достаточно принять критерий конечной точки за контрольную величину и использовать методику, описанную ниже.

Если контрольное испытание проводят через определенные периоды времени старения, то время до разрушения каждого образца определяют как среднее из двух значений времени старения, после которого образец впервые не выдерживает проверочного испытания, и времени старения до непосредственно предшествующего разрушения контрольного испытания, то есть за время до разрушения принимают среднюю точку последнего цикла, воздействию которого подвергают образец.

Эту методику применяют в циклических испытаниях, когда все образцы в конце каждого цикла подвергаются контрольным испытаниям, после чего проходят новые циклы и так до тех пор, пока значение проверяемой характеристики не достигнет уровня критерия конечной точки.

3.2. Однократное измерение на каждом образце

В этом случае строят график зависимости характеристики от времени старения для каждой температуры и проводят линию наилучшего совпадения со всеми экспериментальными точками в четырех сроках старения, после которых, когда результаты испытаний близки к точке пересечения линии наилучшего совпадения с линией критерия конечной точки, через точки, соответствующие результатам испытаний отдельных образцов, проводят линии, параллельные

линии наилучшего совпадения. Абсциссы точек пересечения этих линий с линией критерия конечной точки принимаются за пределы времени до разрушения образцов.

Эта методика используется в тех случаях, когда проверяемую характеристику определяют методом разрушающих испытаний и в случаях непрерывного старения, когда после фиксированного периода времени из термостата извлекают определенное количество образцов и после измерения выбрасывают.

4. Статистические расчеты и решения

Для каждого значения температуры воздействия θ_i в °С, при которой проводят старение ($i=1, 2 \ldots, k$ при $k \geq 3$), вычисляют

величину, обратную термодинамической температуре (x_i) по формуле

$$x_i=\frac{1}{\theta_i+273}, \qquad (2)$$

десятичный логарифм (Бригга) времени до разрушения образца (y_{ij}) по формуле

$$y_{ij}=\lg t_{ij}, \qquad (3)$$

где t_{ij} - время до разрушения образца номер j, при температуре θ_i для $j=1, 2 \ldots, n_i$, где

n_i — количество образцов, подвергаемых старению при θ_i.

Общее количество образцов равно $N=\Sigma n_i$.

4.1. Проверка равенства дисперсий y_{ij}

Вычисляют дисперсию (s_{ij}^2) при различных величинах x_i по формуле

$$s_{1i}^2=\frac{n_i\Sigma y_{ij}^2-(\Sigma y_{ij})^2}{n_i f_i}, \qquad (4)$$

где $f_i=n_i-1$ — число степеней свободы s_{1i}^2, и суммарную дисперсию (s_1^2) по формуле

$$s_1^2=\frac{\Sigma f_i s_{1i}^2}{\Sigma f_i}, \qquad (5)$$

а соответствующее число степеней свободы (f_1) по формуле

$$f_1=\Sigma f_i=N-k.$$

Дисперсии сравнивают по методу Бартлетта.

Вычисляют промежуточную постоянную (c) по формуле

$$c=1+\frac{\left(\Sigma\frac{1}{f_i}\right)-\frac{1}{f_1}}{3(k-1)} \qquad (6)$$

и стохастическую переменную распределения (χ^2) по формуле

$$\chi^2=2,3\cdot\frac{f_1\cdot\lg s_1^2-\Sigma(f_i\cdot\lg s_{1i}^2)}{c}. \qquad (7)$$

Переменную χ^2 сравнивают с ее 0,95 квантилей распределений χ^2 (0,95, k—1).

Если $\chi^2>\chi^2$ (0,95, k—1), величину χ^2 вносят в протокол вместе с диапазоном нагревостойкости.

4.2. Определение коэффициентов регрессии

Исходя из общего уравнения регрессии

$$Y=a+bx \tag{8}$$

и из определений взвешенного среднего значения x_i

$$\overline{x}=\frac{\Sigma n_i x_i}{N}\ , \tag{9}$$

выборочного среднего значения y_i

$$\overline{Y}_i=\frac{\Sigma y_{ij}}{n_i}\ , \tag{10}$$

и, следовательно, суммарного среднего значения y_{ij}

$$\overline{Y}=\frac{\Sigma n_i \overline{y}_i}{N}\ , \tag{11}$$

определяются коэффициенты уравнения регрессии по формулам:

$$b=\frac{N\Sigma(x_i\Sigma y_{ij})-(\Sigma n_i x_i)\cdot(\Sigma\Sigma y_{ij})}{N\Sigma n_i x_i^2-(\Sigma n_i x_i)^2} \tag{12}$$

и

$$a=\overline{y}-b\overline{x}. \tag{13}$$

Линию регрессии вычерчивают на графике срока службы.

4.3. Проверка линейности

Вычисляют дисперсию около линии регрессии по формуле

$$s_2^2=\frac{(\Sigma n_i\overline{y_i^2}-N\overline{y}^2)-b(\Sigma n_i x_i\overline{y_i}-N\overline{x}\,\overline{y})}{f_2}\ , \tag{14}$$

где $f_2=k-2$ — число степеней свободы s_2^2, и стохастическую переменную в распределении Фишера из формулы

$$F=\frac{s_2^2}{s_1^2}\ . \tag{15}$$

Переменную величину F сравнивают с 0,95 квантилей распределений F (0,95, fn, fd) (табл. 7).

Если $F>F$ (0,95, fn, fd) величину F вносят в протокол вместе с диапазоном нагревостойкости.

Суммарную оценку дисперсии (s^2) вычисляют по формуле

$$s^2=\frac{f_1 s_1^2+f_2 s_2^2}{f}\ , \tag{16}$$

где $f=N-2$ — число степеней свободы s^2.

4.4. Доверительная граница для Y

Для выбранных величин X определяют из уравнения (8) значения Y

$$Y=a+bX \tag{17}$$

и ее дисперсию

$$s_y^2=s^2\left[\frac{1}{N}+\frac{(X-\overline{x})^2 N}{N\Sigma n_i x_i^2-(\Sigma n_i x_i)^2}\right]\ . \tag{18}$$

Определяют $t=t(0{,}95,\ f)$ из табл. 6 и вычисляют нижнюю одностороннюю границу доверительного интервала (Y_c) для y по формуле

$$Y_c=Y-ts_y, \tag{19}$$

где s_y есть квадратный корень из дисперсии s_y^2

Взаимно связанные величины X и Y_c наносят на график срока службы (см. п. 4.2) и проводят кривую, образующую нижнюю одностороннюю границу доверительного интервала с вероятностью 95 % для истинного значения Y при данной величине X.

4.5. Коэффициент вариации

Из уравнения регрессии вычисляют величину X_5, соответствующую $Y_5=3{,}7$ (время до разрушения, равное 5000 ч)

$$X_5=\frac{Y_5-a}{b} \tag{20}$$

и соответствующую дисперсию для Y_5

$$s_y^2=s^2\left[\frac{1}{N}+\frac{(X_5-\bar{x})^2N}{N\Sigma n_i x_i^2-(\Sigma n_i x_i)^2}\right]. \tag{21}$$

Если коэффициент вариации C_v в процентах, определяемый из формулы

$$C_v=\frac{s_y}{3{,}7}\cdot 100, \tag{22}$$

больше 1,5 %, вычисления прекращают и строят только график сроков службы.

4.6. Определение температур, соответствующих времени 20 000 ч (ϑ_{20}) и 5000 ч (ϑ_5) до разрушения образца

Применяя формулы (2) и (8) вычисляют

$$\vartheta_{20}=\frac{b}{4{,}3-a}-273 \tag{23}$$

$$\vartheta_5=\frac{b}{3{,}7-a}-273. \tag{24}$$

4.7. Определение доверительной границы для ϑ_5

Вычисляют промежуточную постоянную b_r

$$b_r=b-\frac{t^2s^2}{b\Sigma n_i\cdot(x_i-\bar{x})^2} \tag{25}$$

и ее дисперсию s_r^2

$$s_r^2=s^2\left[\frac{b_r}{Nb}+\frac{(X_5-\bar{x})^2N}{N\Sigma n_i x_i^2-(\Sigma n_i x_i)^2}\right] \tag{26}$$

и находят верхнюю одностороннюю границу для X

$$X_c=\bar{x}+\frac{Y_5-\bar{y}}{b_r}+\frac{ts_r}{b_r}, \tag{27}$$

где $t=t(0{,}95,\ f)$ и находят нижнюю одностороннюю границу доверительного интервала с вероятностью 95 % для ϑ_5

$$\vartheta_c=\frac{1}{X_c}-273.$$

4.8. Диапазон нагревостойкости

Диапазон нагревостойкости записывают в соответствии с требованиями п. 7.3.2:

$$\text{дн}\,\vartheta_{20}/\vartheta_5(\vartheta_c).$$

5. Примеры расчета диапазона нагревостойкости

Примеры расчетов, которые выполняют последовательно на простом настольном калькуляторе или с помощью логарифмической линейки и таблицы логарифмов.

Для удобства используют следующие сокращения:

S — сумма;
D — разность;
Q — квадрат числа;
P — произведение;
M — среднее значение;
V — вариация;
R — обратная величина.

Например, SQD обозначает сумму квадратов разностей. Индексы помещают в скобки. Условные обозначения использованы в таблицах.

5.1. Пример 1 (Непрерывные измерения)

Материал испытывают путем непрерывного измерения проверяемой характеристики (например, сопротивление изоляции).

Время до разрушения определяют для каждого образца как время старения, после которого сопротивление изоляции снижается до уровня нормированной величины (критерия конечной точки).

Предполагаемый температурный диапазон, соответствующий экстраполированному времени до выхода из строя порядка 20 000 ч, составляет от 160 до 169 °С. Из табл. 1 выбирают три температуры воздействия: 220, 200 и 180 °С, то есть $k=3$ ($i=1$; 2, 3).

Готовят не менее 15 образцов ($N=15$) и по 5 из этих образцов, выбранных произвольно, подвергают старению при каждой температуре $n_i=5$ ($j=1$, 2, 3, 4, 5).

Время до разрушения t_{ij}, ч приведено в табл. 4, где показан также расчет величины, обратной термодинамической температуре x_i и величин $y_{ij}=\lg t_{ij}$. Для удобства величины x умножают на 1000.

В табл. 5 показаны этапы расчета диапазона нагревостойкости.

5.1.1. Дисперсии s_{1i}^2 вычисляют в соответствии с номером этапа (14) V (1, i) с $f(i)=4$ степенями свободы, суммарную дисперсию s_1^2 в соответствии с номером этапа (26), V (1) с f (1) $=12$ степенями свободы. Исследуемую переменную $\chi^2=0{,}17$, номер этапа (34) — сравнивают с χ^2 (0,95; 2) $=6{,}0$ номер шага (35), полученным из табл. 6. Так как $\chi^2<\chi$ (0,95; 2), величина χ^2 не значима на 5 %-ном уровне значимости.

5.1.2 Вычисляются коэффициенты регрессии $a=-7{,}604$, номер этапа (53), и $b=5{,}174$, этап (51). Линию регрессии

$$y=-7{,}604+5{,}174\,x$$

вычерчивают на графике сроков службы (черт. 4).

5.1.3. Сопоставляют исследуемую переменную $F=0{,}7$, номер этапа (63) с F (0,95; 1; 12) $=4{,}8$, номер этапа (64). Так как $F<F$ (0,95; 1; 12), величина F не значима на 5 %-ном уровне значимости.

5.1.4. Выбирают температуру 220, 200, 180 и 160 °С, этап (70), определяют границу доверительного интервала с вероятностью 95 % t_c, номер этапа (83), для соответствующих величин t номер этапа (84), с коэффициентом Стьюдента t (0,95; 13) $=1{,}77$, номер этапа (69), и наносят на график службы.

Таблица 4

Расчетный параметр	Значение параметра для i		
	1	2	3
Количество образцов n	5	5	5
Температура воздействия θ, °С	220	200	180
Термодинамическая температура (273+θ), Θ, К	493	473	453
Переменная x 1000/Θ, К	2,028	2,114	2,208
Время до разрушения t, ч для образцов j:			
1	1100	2400	7410
2	740	1820	6610
3	720	1660	6170
4	620	1740	5500
5	910	2700	6910
Логарифм времени до разрушения y=lg t для образцов j:			
1	3,04	3,38	3,87
2	2,87	3,26	3,82
3	2,80	3,22	3,79
4	2,79	3,24	3,74
5	2,96	3,43	3,95

В табл. 6 и 7 даны величины χ^2 (0,95, f), t (0,95; f) и F (0,95, f_n, f_d), где f_n есть количество степеней свободы числителя и f_d — знаменателя в выражении $F=\frac{s_n^2}{s_d^2}$.

5.1.5. Вычисляют коэффициент вариации $C_v=0{,}9$ %, этап (97). Так как коэффициент вариации $C_v \leq 1{,}5$ %, вычисления продолжают.

5.1.6. Величины $\theta_b=185$ °С и $\theta_{2b}=162$ °С вычисляют по этапу (90).

5.1.7. Границу доверительного интервала с вероятностью 95 % вычисляют по этапу (113): $\theta_c=182$ °С.

5.1.8. Диапазон нагревостойкости имеет вид

ДН: 162/185 (182).

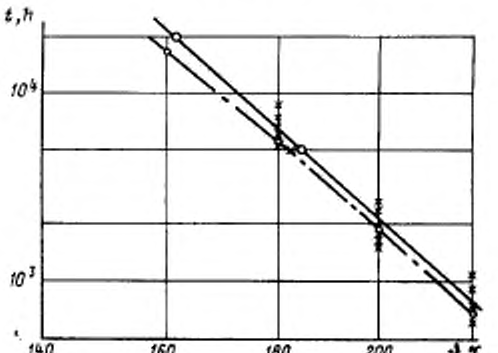
5.2. Пример 2 (Циклическое применение проверочного испытания)

Материал подвергается проверочным испытаниям (например, испытанию заданным напряжением в течение 1 мин в соответствии с табл. 3, испытание 1.1).

Предполагаемый температурный диапазон, соответствующий экстраполированному времени до разрушения, равному 20 000 ч, от 140 до 149 °С. Из табл. 1 выбирают 3 температуры воздействия и соответствующие длительности воздействия этих температур в циклах, как указано в табл. 8.

Подготавливают не менее 30 образцов (N=30) и предварительно проводят проверочные испытания. Все неисправные образцы заменяют. По 10 произвольно выбранных образцов подвергают старению при каждой из трех температур, то есть k=3 (i=1, 2, 3) и n_i=10 (j=1, 2 . . 10).

График сроков службы



× — экспериментальные точки,
○ — граница доверительного интервала с вероятностью 95 % для t;
——— — линия регрессии.
— — — — — — граница доверительного интервала с вероятностью 95 % для t;
○ — ϑ_5 и ϑ_{95},
× — ϑ_c.

Черт. 4

После каждого нормированного периода теплового воздействия t_p, ч образцы вынимают из термостата и проводят проверочные испытания. Образцы, выдержавшие испытание, снова помещают в термостат для следующего цикла, а для разрушившихся образцов регистрируют количество проведенных циклов старения p в соответствии с табл. 8. Время до разрушения определяют как среднюю точку последнего цикла, т. е.

$$t = t_p(p - 0{,}5). \qquad (28)$$

В табл. 9 показан расчет переменных $y = \lg t$ и x равной величине обратной термодинамической температуры.

Для удобства величины x умножают на 1000.

После этого расчеты выполняют, как в примере 1 (см табл. 10, где числа в скобках относятся к соответствующим этапам в табл 5)

5.3. Пример 3 (Разрушающие испытания)

Материалы подвергаются разрушающим испытаниям (например, определяются пределы прочности при растяжении в соответствии с табл. 3, испытание 2.1). За критерий конечной точки принимают снижение прочности на 50 % от начальной величины.

На основе имеющегося опыта предполагается, что логарифм показателя предела прочности при растяжении является линейной функцией времени.

Таблица 5

Номер этапа расчета	Этап расчета	Расшифрованное действие (через номер шага)	Числовое значение для i			при температуре старения
			1	2	3	
(1)	$n(i)$	Из табл. 4	5	5	5	
(2)	$x(i)$	Из табл. 4	2,028	2,114	2,208	
(3)	$Qx(i)$	(2) в квадрате	4,112784	4,468996	4,875264	
(4)	$y(l, i)$	Из табл. 4	3,04	3,38	3,87	
			2,87	3,26	3,82	
			2,86	3,22	3,79	
			2,79	3,24	3,74	
			2,96	3,43	3,95	
(5)	$Qy(i, j)$	(4) в квадрате	9,2416	11,4244	14,9769	
			8,2369	10,6276	14,5924	
			8,1796	10,3684	14,3641	
			7,7841	10,4976	13,9876	
			8,7616	11,7649	15,6025	
(6)	$Sy(i)$	(4) в сумме	14,52	16,53	19,17	
(7)	$SQy(i)$	(5) в сумме	42,2038	54,6829	73,5215	
(8)	$n(i)\cdot SQy(i)$	(1)·(7)	211,0190	273,4145	367,6175	
(9)	$QSy(i)$	(6) в квадрате	210,8304	273,2409	367,4889	
(10)	$n(i)\cdot SQDy(i)$	(8)—(9)	0,1886	0,1736	0,1286	
(11)	$SQDy(i)$	(10)/(1)	0,03772	0,03472	0,02572	
(12)	$f(i)$	(1)—1	4	4	4	
(13)	$Rf(i)$	1/(12)	0,25	0,25	0,25	
(14)	$V(l, i)$	(11)/(12)	0,00943	0,00868	0,00643	
(15)	$\lg V(l, i)$	lg (14)	0,975—3	0,939—3	0,808—3	
(16)	$f(i)\cdot\lg V(l, i)$	(12)·(15)	3,900—12	3,756—12	3,232—12	
(17)	$My(i)$	(6)/(1)	2,90	3,31	3,83	
(18)	$n(i)\cdot Qx(i)$	(1)·(3)	20,56392	22,34498	24,37632	
(19)	$n(i)\cdot x(i)$	(1)·(2)	10,14	10,57	11,04	
(20)	$x(i)\cdot Sy(i)$	(2)·(6)	29,44656	34,94442	42,32716	
(21)	$QSy(i)n(i)$	(9)/(1)	42,16608	54,64818	73,49778	

Продолжение табл. 5

Номер этапа расчета	Этап расчета	Расшифрованное действие (через номер шага)	Числовое значение			
			для i			при температуре старения
			1	2	3	
(22)	$SSQDy$	(11) в сумме		0,0916		
(23)	SRf	(13) в сумме		0,75		
(24)	$f(I)$	(12) в сумме		12		
(25)	$Rf(I)$	1/(24)		0,083		
(26)	$V(I)$	(22)/(24)		0,0082		—
(27)	$\lg V(I)$	lg (26)		0,914 3		
(28)	$L(I)$	(24)·(27)		10,968.36		
(29)	L	(16) в сумме		10,888.36		
(30)	$L(I)—L$	(28) —(29)		0,080		
(31)	RF	(23)—(25)		0,67		
(32)	$RF/3(h—I)$	(31)/3(k—1)		0,11		
(33)	c	I+(32)		1,11		
(34)	χ^2	2.3(10)/(33)		0,17		
(35)	$\chi^2(0,95;k—1)$	Из табл. 6		6,0		
(36)	N	(1) в сумме		15		
(37)	Sx	(19) в сумме		31,75		
(38)	Mx	(37)/36		2,1167		—
(39)	SQx	(18) в сумме		67,28522		
(40)	$N·SQx$	(36)·(39)		1,009.2783		
(41)	QSx	(37) в квадрате		1,008.0625		
(42)	$N·SQDx$	(40) —(41)		1,2158		
(43)	$SQDx$	(42)/(36)		0,08105		
(44)	Sy	(6) в сумме		50,22		
(45)	My	(44)/(36)		3,348		
(46)	$SPxy$	(2) в сумме		106,718.34		

Продолжение табл. 6

Номер этапа расчета	Этап расчета	Расшифрованное действие (через номер шага)	Числовое значение			
			для i			при температуре старения
			1	2	3	
(47)	$N{\cdot}SPxy$	(36)·(46)		1,600,7751		
(48)	$Sx{\cdot}Sy$	(37)·(44)		1,594,4850		
(49)	$N{\cdot}SPDxy$	(47)—(48)		6,2901		
(50)	$SPDxy$	(49)/(36)		0,41934		
(51)	b	(50)/(43)		5,174		
(52)	$b{\cdot}Mx$	(51)·(38)		10,952		
(53)	a	(45)—(52)		—7,604		
(54)	SQy	(21) в сумме		170,3120		
(55)	$N{\cdot}SQy$	(36)·(54)		2,554,680		
(56)	QSy	(44) в квадрате		2,522,048		
(57)	$N{\cdot}SQDy$	(55)—(56)		32,632		
(58)	$SQDy$	(57)/(36)		2,17547		—
(59)	$B{\cdot}SPDxy$	(51)·(50)		2,16967		
(60)	$SQDMy$	(58)—(59)		0,00580		
(61)	$f(2)$	k—2		1		
(62)	$V(2)$	(60)/(61)		0,0058		
(63)	F	(62)/(26)		0,7		
(64)	$F(0{,}95;\ k{-}2;\ N{-}k)$	Из табл. 7		4,8		
(65)	$SSSQDy$	(22)+(60)		0,10396		
(66)	f	(36)—2		13		
(67)	V	(65)/(66)		0,00800		
(68)	$1/N$	1/(36)		0,0667		
(69)	$t(0{,}95;\ N{-}2)$	Из табл. 6		1,77		
(70)	θ, °C		220	200	180	160
(71)	Θ, K	(70)+273	493	473	453	433

Продолжение табл. 5

Номер этапа расчета	Этап расчета	Расшифрованное действие (через номер шага)	Числовое значение			
			для i			при температуре старения
			1	2	3	
(72)	X	10/(71)	2,028	2,114	2,208	2,309
(73)	$b \cdot X$	(51)·(72)	10,493	10,938	11,424	11,947
(74)	Y	(73)+(53)	2,889	3,334	3,820	4,343
(75)	DX	(72)—(38)	—0,0887	—0,0027	0,0913	0,1923
(76)	QDX	(75) в квадрате	0,00787	0,00001	0,00834	0,3698
(77)	$QDX/SQDx$	(76)/(43)	0,09710	0,00012	0,10290	0,45626
(78)	C	(68)+(77)	0,1638	0,0668	0,1696	0,5230
(79)	$V(Y)$	(67)·(78)	0,00131	0,00053	0,00136	0,00118
(80)	$s(Y)$	Квадратный корень (79)	0,036	0,023	0,037	0,065
(81)	$t \cdot s(Y)$	(69)·(80)	0,064	0,041	0,065	0,115
(82)	$Y(c)$	(74)·(81)	2,825	3,293	3,755	4,228
(83)	$t(c)$	lg^{-1} (82)	668	1960	5690	16900
(84)	t	lg^{-1} (74)	774	2160	6610	22000
(85)	T, ч	—		5,000	20000	
(86)	Y	lg (85)		3,699	4,301	
(87)	$Y—a$	(86)—(53)		11,101	11,905	
(88)	X	(87)/(51)		2,185	2,301	
(89)	θ, K	10^3/(88)		458	435	
(90)	θ, °C	(89)—273		185	162	
(91)	DX	(88)—(38)		0,0683		
(92)	QDX	(91) в квадрате		0,00466		
(93)	$QDX/SQDx$	(92)/(43)		0,0576		
(94)	C	(68)+(93)		0,1243		
(95)	$V(Y)$	(67)·(94)		0,00099		
(96)	$s(Y)$	Квадратный корень (95)		0,032		
(97)	C_v	(96)/(86)		0,009		

Продолжение табл. 6

Номер этапа расчета	Этап расчета	Расшифрованное действие (через номер шага)	Числовое значение			
			для t			при температуре старения
			1	2	3	
(98)	Qt	(69) в квадрате	1,11			
(99)	$V{\cdot}Qt$	(67)·(98)	0,025			
(100)	$V{\cdot}Qt/SPDxy$	(99)/(50)	0,060			
(101)	$b(r)$	(51)—(100)	5,114			
(102)	$b(r)/b$	(101)/(51)	0,988			
(103)	$B(r)/b{\cdot}N$	(102)·(68)	0,0659			
(104)	$C(r)$	(103)+(93)	0,1235			
(105)	$V(r)$	(67)·(104)	0,00099			
(106)	$s(r)$	Квадратный корень (105)	0,0314			
(107)	$t{\cdot}s(r)$	(69)·(106)	0,0556			—
(108)	$t{\cdot}s(r)/b(r)$	(107)/(101)	0,0109			
(109)	DY	(86) -(45)	0,351			
(110)	$DY/b(r)$	(109)/(101)	0,0686			
(111)	$X(c)$	(38)+(110)+ +(108)	2,196			
(112)	$\Theta(c)$,K	10^3(111)	455			
(113)	$\theta(c)$, °C	(112)- 273	182			

Таблица 6

Количество степеней свободы f	0,95 квантилей распределения		Количество степеней свободы	0,95 квантилей распределения	
	χ^2	t		χ^2	t
1	3,8	6,31	13	22,4	1,77
2	6,0	2,92	14	23,7	1,76
3	7,8	2,35	15	25,0	1,75
4	9,5	2,13	16	26,3	1,75
5	11,1	2,02	17	27,6	1,74
6	12,6	1,94	18	28,9	1,73
7	14,1	1,90	19	30,1	1,73
8	15,5	1,86	20	31,4	1,73
9	16,9	1,83	25	37,7	1,71
10	18,3	1,81	30	43,8	1,70
11	19,7	1,80	40	55,8	1,68
12	21,0	1,78	50	67,5	1,68
			100	124,3	1,66
			500	553,2	1,65

Таблица 7

Количество степеней свободы знаменателя f_2	0,95 квантилей распределения для F при количестве степеней свободы числителя f_1					Количество степеней свободы знаменателя f_2	0,95 квантилей распределения для F при количестве степеней свободы числителя f_1				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	161	200	216	225	230	11	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0
2	19	19	19	19	19	15	4,5	3,7	3,3	3,1	2,9
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	16	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	17	4,5	3,6	3,2	3,0	2,8
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	18	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8
6	6,0	5,1	4,8	4,5	4,4	19	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4,0	20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	25	4,2	3,4	3,0	2,8	2,6
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5
10	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	40	4,1	3,2	2,8	2,6	2,5
11	4,8	4,0	3,6	3,4	3,2	50	4,0	3,2	2,8	2,6	2,4
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	100	3,9	3,1	2,7	2,5	2,3
13	4,7	3,8	3,4	3,2	3,0	500	3,9	3,0	2,6	2,4	2,2

Предполагаемый температурный диапазон, соответствующий экстраполированному времени до разрушения, равному 20000 ч, от 150 до 159 °С.

Из табл. 1 выбирают 3 температуры воздействия ϑ °С и периоды воздействия t_ρ — 48 при 210 °С, 168 ч при 190 °С и 672 ч при 170 °С.

Подготавливают около 200 образцов. 10 образцов, выбранных произвольно, подвергают старению в течение 48 ч при 170 °С, после чего их испытывают, чтобы определить начальную величину предела прочности при растяжении. Оставшиеся образцы делят произвольно на три группы в термостатах при температурах 212, 190 и 171 °С. В конце каждого периода старения на 5 образцах

определяют предел прочности при растяжении, после чего их выбрасывают. Предел прочности при растяжении выражают в виде $\lg p$ — логарифма отношения измеренной величины к начальному значению. Тогда критерий конечной точки принимает вид $\lg p_e = \lg 0{,}5 = 0{,}6990 - 1$.

Полученные таким образом величины $\lg p$ приведены в табл. 11 для 4 сроков старения, после которых среднее значение измерений величины проверяемой характеристики наиболее близко к критерию конечной точки, как показано на черт. 5, для случая $\vartheta = 212$ °С.

Для более точного построения зависимости изменения проверяемой характеристики от времени старения при каждой из трех температур результаты испытаний обрабатывают по методу наименьших квадратов следующим образом.

Рассчитывают коэффициенты в уравнении

$$y = a + bx,$$

где y — $\lg p$.

x — продолжительность старения до момента измерения t_m;

$$a = \frac{\Sigma \bar{y}_i}{k} - b\bar{x}; \qquad (29)$$

$$b = \frac{\Sigma (x_i - \bar{x})\bar{y}_i}{\Sigma (x_i - \bar{x})^2}, \qquad (30)$$

где

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{k},$$

а

$$\bar{y}_i = \frac{\Sigma y_{ij}}{n_i},$$

$k = 4$, количество сроков старения, после которых использованы результаты испытаний для построения графика изменения свойства при каждой температуре ($i = 1, 2, 3, 4$) и $n_i = 5$, количество образцов, испытанных после каждого срока старения ($j = 1, 2, \ldots, 5$).

Расчеты приведены в табл. 12. По результатам расчета проводят линию наилучшего совпадения с экспериментальными точками.

Для каждого образца через точку, выражающую результат его испытания, проводят линию, параллельную линии наилучшего совпадения, как показано на черт. 5 для случая $\vartheta = 212$ °С.

Время, соответствующее точке пересечения линии отдельного образца с линией критерия конечной точки, принимают за время до разрушения этого образца. Время до разрушения образца вычисляют по формуле

$$t = t_m + \frac{\lg p_e - \lg p}{b}, \qquad (31)$$

где t_m — время до момента измерения и $\lg p_e = 0{,}6990 - 1$ — критерий конечной точки.

Таблица 8

Расчетный параметр	Значение параметра для i		
	1	2	3
Температура воздействия θ, °С	200	180	160
Продолжительность цикла t_p, ч	48	168	672
Количество циклов p для образцов j:			
1	14	7	7
2	10	13	7
3	8	7	6
4	10	6	7
5	14	9	9
6	11	8	7
7	9	11	9
8	12	12	11
9	8	6	8
10	9	10	8

Таблица 9

Расчетный параметр	Значение параметра для i		
	1	2	3
Количество образцов n	10	10	10
Температура воздействия θ, °С	200	180	160
Переменная $x=\frac{1000}{\Theta+273}$	2,114	2,208	2,309
Время до разрушения, t, ч, для образца j:			
1	648	1092	4368
2	456	2100	4368
3	360	1092	3696
4	456	924	4368
5	648	1428	5712
6	504	1260	4368
7	408	1764	5712
8	552	1932	7056
9	360	924	5040
10	408	1596	5040
Переменная $y=\lg t$ логарифм времени до разрушения для образца j:			
1	2,81	3,04	3,64
2	2,66	3,32	3,64
3	2,56	3,04	3,57
4	2,66	2,97	3,64

Продолжение табл. 9

Расчетный параметр	Значение параметра для i		
	1	2	3
5	2,81	3,15	3,76
6	2,70	3,10	3,64
7	2,61	3,25	3,76
8	2,74	3,29	3,85
9	2,56	2,97	3,70
10	2,61	3,20	3,70

Таблица 10

Номер этапа расчета	Числовое значение			
	для i			при температуре старения
	1	2	3	
(1)	10	10	10	
(2)	2,114	2,208	2,309	
(3)	4,468995	4,875264	3,331481	
(4)	2,81	3,04	3,64	
	2,66	3,32	3,64	
	2,56	3,04	3,57	
	2,66	2,97	3,64	
	2,81	3,15	3,76	
	2,70	3,10	3,64	
	2,61	3,25	3,76	
	2,74	3,29	3,85	
	2,56	2,97	3,70	
	2,61	3,20	3,70	
(5)	7,8961	9,2416	13,2496	
	7,0756	11,0224	13,2496	
	6,5536	9,2416	12,7449	
	7,0756	8,8209	13,2496	
	7,8961	9,9225	14,1376	
	7,2900	9,6100	13,2496	
	6,8121	10,5625	14,1376	
	7,5076	10,8241	14,8225	
	6,5536	8,8209	13,6900	
	6,8121	10,2400	13,6900	
(6)	26,72	31,33	36,90	
(7)	71,4724	98,3065	136,2210	
(8)	714,724	983,065	1362,210	
(9)	713,9584	981,5689	1361,6100	
(10)	0,7656	1,4961	0,6000	
(11)	0,07656	0,14961	0,06000	
(12)	9	9	9	
(13)	0,111	0,111	0,111	
(14)	0,00851	0,01662	0,00667	
(15)	0,9303	0,2212	0,8243	
(16)	8,37027	1,98918	7,41627	
(17)	2,672	3,133	3,690	
(18)	44,68995	48,75264	53,31481	

Продолжение табл. 10

Номер этапа расчета	Числовое значение для t			при температуре старения
	1	2	3	
(19)	21,14	22,08	23,09	
(20)	56,48608	69,17664	85,20210	
(21)	71,39584	98,15689	136,16100	
(22)		0,28617		
(23)		0,333		
(24)		27		
(25)		0,037		
(26)		0,0106		
(27)		0,0252		
(28)		0,67554		
(29)		17,77572		
(30)		0,900		
(31)		0,296		
(32)		0,05		
(33)		1,05		
(34)		1,97		
(35)		6,0		
(36)		30		
(37)		66,31		
(38)		2,2103		
(39)		146,7574		
(40)		4402,7200		—
(41)		4397,0161		
(42)		5,7059		
(43)		0,19020		
(44)		94,95		
(45)		3,165		
(46)		210,86482		
(47)		6325,9446		
(48)		6296,1345		
(49)		29,8101		
(50)		0,99367		
(51)		5,224		
(52)		11,547		
(53)		—8,382		
(54)		305,71373		
(55)		9171,4119		
(56)		9015,5025		
(57)		155,9094		
(58)		5,19698		
(59)		5,19093		
(60)		0,00605		
(61)		1		
(62)		0,00605		
(63)		0,6		
(64)		4,2		
(65)		0,29222		

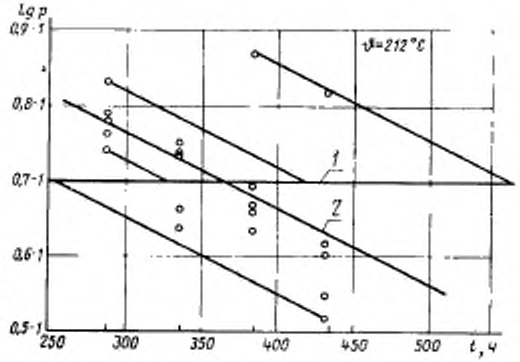
Продолжение табл. 10

Номер этапа расчета	Числовое значение			
	для i			при температуре старения
	1	2	3	
(66)	28			
(67)	0,01044			
(68)	0,03333			
(69)	1,70			
(70)	200	180	160	140
(71)	473	453	433	413
(72)	2,114	2,208	2,309	2,421
(73)	11,044	11,535	12,062	12,647
(74)	2,662	3,153	3,680	4,265
(75)	—0,0963	—0,0023	0,0987	0,2107
(76)	0,00927	0,00001	0,000974	0,04439
(77)	0,04874	0,00005	0,05121	0,23339
(78)	0,0821	0,0334	0,0845	0,2667
(79)	0,00086	0,00035	0,00088	0,00278
(80)	0,029	0,019	0,030	0,053
(81)	0,049	0,032	0,051	0,090
(82)	2,613	3,121	3,629	4,175
(83)	410	1320	4260	15000
(84)	459	1420	4790	18400
(85)	5000		20000	
(86)	3,699		4,301	
(87)	12,081		12,683	
(88)	2,313		2,428	
(89)	432		412	
(90)	159		139	
(91)	0,1027			
(92)	0,01055			
(93)	0,0555			
(94)	0,0888			
(95)	0,00093			
(96)	0,030			
(97)	0,008			
(98)	2,89			
(99)	0,030			
(100)	0,030			
(101)	5.194			
(102)	0,994		—	
(103)	0,0331			
(104)	0,0886			
(105)	0,00092			
(106)	0,0303			
(107)	0,0515			
(108)	0,0099			
(109)	0,534			
(110)	0,1028			
(111)	2,323			
(112)	430			
(113)	157			

Таблица 11

t_m, ч	lg p	t_m, ч	lg p	t_m, ч	lg p
при 212 °С		при 190 °С		при 171 °С	
288	0,834—1	1344	0,754—1	5376	0,711—1
	0,789—1		0,784—1		0,667—1
	0,781—1		0,709—1		0,814—1
	0,766—1		0,835—1		0,841—1
	0,743—1		0,709—1		0,726—1
336	0,752—1	1512	0,750—1	6048	0,748—1
	0,664—1		0,602—1		0,709—1
	0,735—1		0,750—1		0,821—1
	0,640—1		0,772—1		0,712—1
	0,737—1		0,668—1		0,641—1
384	0,635—1	1680	0,602—1	6720	0,649—1
	0,871—1		0,718—1		0,637—1
	0,661—1		0,599—1		0,633—1
	0,669—1		0,813—1		0,713—1
	0,696—1		0,599—1		0,667—1
432	0,619—1	1848	0,636—1	7392	0,529—1
	0,550—1		0,544—1		0,512—1
	0,819—1		0,506—1		0,749—1
	0,519—1		0,601—1		0,593—1
	0,601—1		0,662—1		0,760—1

Определение предлагаемого времени до разрушения образца (разрушающие испытания)



1—линия критерия конечной точки, 2—линия наилучшего совпадения

Черт. 5

Таблица 12

Расчетный параметр	Значение расчетного параметра при ϑ, °С		
	212	190	171
$\overline{y_i}$ при i:			
1	0,7826 -1	0,7582—1	0,7518—1
2	0,7056—1	0,7084—1	0,7262—1
3	0,7064 -1	0,6262—1	0,6598—1
4	0,6216—1	0,5938—1	0,6286—1
$\overline{x}$	360	1596	6384
b	—0,001005	—0,0003425	—0,00006488
a	0,0657	0,2183	0,1058

То есть, если предположить, что образец испытывается во время t вместо времени t_m, то измеренной величиной будет p_e вместо фактически измеренной величины p.

Полученное таким образом предполагаемое время до разрушения образца t_{ij} приведено в табл. 13.

Расчет диапазона нагревостойкости продолжают как в примере 1 с тремя температурами (k=3) и 20-ю образцами при каждой температуре n_i =4,5= 20) с общим числом $N=k\cdot n_i$ =60 образцов.

Таблица 13

Предполагаемые периоды времени до разрушения образца t_{ij}, ч, при ϑ, °С			Предполагаемые периоды времени до разрушения образца t_{ij}, ч при ϑ, °С		
212	190	171	212	190	171
422	1505	5561	320	1396	5950
378	1592	4883	555	1736	5765
370	1373	7149	346	1388	5703
355	1741	7565	354	1429	6936
332	1373	5793	381	1388	6227
389	1661	6804	352	1723	4772
301	1229	6203	284	1396	4510
372	1661	7929	551	1285	8163
277	1725	6248	253	1562	5759
374	1422	5155	334	1740	8333

В табл. 14 показан расчет, проведенный на настольном электронном калькуляторе с введенными статистическими программами для определения средней величины, стандартного отклонения и коэффициентов в уравнении регрессии при $f_1=n_i-1=19$, $f_1=kf_i=57$, $f=N-2=58$,

$$c=1+\frac{\left(\frac{k}{f_i}-\frac{1}{f_1}\right)}{3(k-1)}=1,0234.$$

Диапазон нагревостойкости определяют как

ДН:156/174(173).

Таблица 14

Расчетный параметр	Значение расчетного параметра для i			для нижней границы предполагаемого диапазона температур, соответствующих 20000 ч
	1	2	3	
ϑ, °C	212	190	171	
$x_i=\frac{1}{\vartheta+273}$	0,002062	0,002160	0,002252	
$\Sigma y_{ij}=\Sigma \lg t_{ij}$.	51,0831	63,5645	75,8151	
Σy_{ij}^2	130,609655	202,066656	287,509901	
$\bar{y}_i=\frac{\Sigma y_{ij}}{n_i}$	2,5542	1,1782	3,7906	
$s_{1i}^2=\frac{n_i\Sigma y_{ij}^2-(\Sigma y_{ij})^2}{n_i f_i}$	0,0071290	0,0023486	0,0059685	
$s_1^2=\frac{\Sigma s_{1i}^2}{k}$	0,0051487			
$\chi^2=\frac{f_i \ln s_1^2-\Sigma f_i \cdot \ln s_{1i}^2}{c}$	5,8			
$\chi^2(0,95;\ k-1)$	6,0			
$\bar{x}=\frac{\Sigma x_i}{k}$	0,002158			
$b=\frac{\Sigma(x_i-\bar{x})\bar{y}_i}{\Sigma(x_i-\bar{x})^2}$	6494			
$a=\frac{\Sigma \bar{y}_i}{k}-b\bar{x}$	—10,839			
$Y_i=a+bx_i$	2,5502	3,1864	3,7866	

Продолжение табл. 14

Расчетный параметр	Значение расчетного параметра			
	для i			для нижней границы предполагаемого диапазона температур, соответствующих 20000 ч
	1	2	3	
$s_2^2=\frac{\Sigma n_i(\overline{y}-Y_i)^2}{(k-2)}$	0,0019984			
$F=\frac{s_2^2}{s_1^2}$	0,4			
$F(0,95;\ k-2;\ f_1)$	4,0			—
$s^2=\frac{f_1 s_1^2+(k-2)s_2^2}{f}$	0,0050944			
s	0,0714			
$t(0,95;f)$	1,68			
ϑ, °С	210	190	170	150
X	0,002070	0,002160	0,002257	0,002364
$Y=Q+bX$	2,606	3,186	3,820	4,513
$\Sigma n_i(x_i-\overline{x})^2$	$3,6526\cdot10^{-7}$			
$s_y^2=s^2\left[\frac{1}{N}+\frac{(X-\overline{x})^2}{\Sigma n_i(x_i-\overline{x})^2}\right]$	0,000195	0,000086	0,000226	0,000689
$Y_c=Y-ts_y$	2,582	3,171	3,794	4,468
$t_e=\lg^{-1}Y$	403	1540	6600	32600
$t_c=\lg^{-1}Y_c$	382	1480	6230	29400
T, ч	5000		20000	
$\vartheta=\frac{b}{\lg T-a}-273$	174		156	
$X_1=\frac{1}{\vartheta-273}$	0,002239		0,002331	

Продолжение табл. 14

Расчетный параметр	Значение расчетного параметра			
	для i			для нижней границы предполагаемого диапазона температур, соответствующих 20000 ч
	1	2	3	
$s_y^2 = s^2\left[\frac{1}{N} + \frac{(X_1 - \bar{x})^2}{\Sigma n_i (x_i - \bar{x})^2}\right]$	0,000178			—
$C_v = \frac{s_y}{\lg T}$	0,004			
$b_r = b - \frac{t^2 s^2}{b \Sigma n_i (x_i - \bar{x})^2}$	6487			
$s_r^2 = s^2\left[\frac{b_r}{Nb} + \frac{(X_1 - \bar{x})^2}{\Sigma n_i (x_i - \bar{x})^2}\right]$	0,000178			0,000513
$X_c = \bar{x} + \frac{\lg T - \bar{y}}{b_r} + \frac{t_{sr}}{b_r}$	0,002242			0,002338
$\vartheta_c = \frac{1}{X_c} - 273$	173			155

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Обязательное

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРЕВОСТОЙКОСТИ

В данном приложении содержатся методы определения графика нагревостойкости, диапазона нагревостойкости и температурного индекса электроизоляционных материалов.

1. Общие положения

1.1. Методы применяются для определения нагревостойкости электроизоляционных материалов в соответствии с основной частью настоящего стандарта приложения 1.

1.2. График сроков службы электроизоляционных материалов представляет собой зависимость срока службы образцов от температуры старения, базирующуюся на результатах испытаний по определению уровня контролируемого показателя образцов в процессе или после старения при различных температурах.

1.3. К экспериментальным данным, которые необходимо статистически обработать, чтобы определить нагревостойкость материала, относится срок службы образцов.

Статистическая обработка результатов испытания основана на предположении, что существует линейная зависимость между логарифмом срока службы и величиной, обратной термодинамической температуре, которая, например, имеет место, если разрушение материала является следствием химической реакции первого порядка и подчиняется закону Аррениуса. Если измеренные величины четко указывают на отсутствие линейной зависимости, экстраполяция графика, необходимая для определения диапазона нагревостойкости, не производится. Кривые старения, выражающие зависимость контролируемого свойства материала от времени старения при различных температурах, могут дать в этих случаях ценную информацию, но температурный индекс можно получить только после испытаний при температуре старения, при которой средний срок службы составляет не менее 20000 ч.

Точность результатов в значительной степени зависит от числа образцов, подвергаемых воздействию каждой температуры.

Если вероятный разброс результатов испытаний предопределен, то можно вычислить число образцов, которое позволит обеспечить достаточную уверенность в результатах; в других случаях для определения необходимого количества образцов проводят предварительные испытания.

Если есть сомнение в принадлежности экспериментальных результатов к данной совокупности, они могут быть выделены как отклонения, посредством статистических методов, но только после тщательного изучения условия испытаний, а их значения должны быть внесены в протокол испытания. Количество результатов при различных температурах воздействия в таких случаях, как правило, бывает различным.

1.4. Способы обработки данных зависят в некоторой степени от метода проведения испытаний.

Следует различать следующие случаи:

А. — способ старения;

А.1 — непрерывное старение;

А.2 — циклическое старение;

Б. — оценка состояния образцов;
Б.1 — измерение свойства (свойств) материала без разрушения образца;
Б1.1 — непрерывная проверка;
Б1.2 - циклические измерения;
Б.2 — циклическое приложение заданного испытательного воздействия (проверочное испытание);
Б.3 — определение свойства материала с разрушением образца.

Способ Б.1 может применяться в сочетании либо со способом А.1, либо со способом А.2. В каждом случае целью испытательного цикла может быть, например, воздействие на испытуемые образцы определенных тепловых ударов во время старения. Если измерения регистрируются непрерывно или часто (Б.1.1) данные срока службы можно получить непосредственным изучением зарегистрированных величин, а в случае циклических измерений (Б.1.2) они интерполируются на графиках кривой старения (п. 3.1). В обоих случаях срок службы определяется для каждого отдельного образца как непрерывная переменная и скорость изменения свойства определяется на основании измерений, что не относится к способам Б.2 и Б.3. Оценка результатов описана в разд. 3.

Способ Б.2 наиболее часто применяется в связи со способом А.2. Проверочное испытание определяет, остается или нет испытуемое свойство образца в пределах контрольного воздействия (критерий конечной точки). В случае применения проверочного испытания (например, в конце каждого цикла старения) срок службы, являющийся дискретной переменной, определяют как среднюю точку цикла (п. 3.1) Поскольку во время испытаний не удается проследить изменение свойств материала во времени, этот способ нельзя считать в такой же степени информативным, как способ Б.1. Статистические способы обработки результатов для получения диапазонов нагревостойкости аналогичны способу Б.1, описанному в разд. 3.

Способ Б.3 может применяться при любом из способов А.1 или А.2. При каждом из измерений проверяют заданное число образцов, которые затем выбрасывают. Так как изменения показателей свойства за разные периоды старения определяют на различных образцах, этот способ более чувствителен к различиям между образцами, чем ранее перечисленные способы. Получить таким путем срок службы отдельных образцов не представляется возможным, но результаты испытаний показывают общую тенденцию изменения свойства материала в зависимости от времени старения и средний срок службы при каждой температуре старения. Статистические способы определения диапазонов нагревостойкости в этом случае рассмотрены в разд. 4.

2. Статистические методы

2.1. Рассматриваемые статистические методы включают следующие этапы:
1) определение срока службы;
2) вычисление коэффициентов a и b линейного уравнения регрессии $y=a+bx$, связывающего логарифм срока службы ($y=\lg t$) с величиной, обратной термодинамической температуре ($X=\frac{1}{H}$);
3) построение графика нагревостойкости;
4) определение температурного индекса (в тех случаях, когда это возможно);
5) проверка равенства дисперсий логарифма срока службы при различных температурах старения;
6) проверка линейности уравнения регрессии.

Примечание. Эта проверка распространяется только на диапазон измеренных точек, и доверительные интервалы, вычисленные для экстраполированных точек, основаны только на предположении о наличии вышеупомянутой линейности (п. 2.2, перечисление 4);

7) определение нижней односторонней границы 95 %-ного доверительного интервала для средних значений логарифмов времени до выхода из строя, взятых на линии регрессии;

8) вычисление величины температуры в градусах Цельсия, соответствующей сроку службы при работе в течение 5000 и 20000 ч по уравнению регрессии;

9) проверка коэффициента вариации логарифма срока службы в соответствии с уравнением регрессии при работе в течение 5000 ч;

10) вычисление нижней односторонней границы 95 %-ного доверительного интервала для температуры, соответствующей на линии регрессии сроку службы 5000 ч.

2.2. Допущения.

Допущения, лежащие в основе примененного статистического метода, сводятся к следующему:

1) наблюдаемые величины срока службы являются стохастически независимыми; образцы, используемые для испытаний на старение, являются произвольно взятыми из исследуемой совокупности и прошедшими одинаковую обработку;

2) зависимая переменная y (логарифм срока службы) имеет нормальное распределение при каждой величине независимой переменной x (величина, обратная термодинамической температуре);

3) дисперсия σ^2 зависимой переменной y одинакова при всех величинах x;

4) зависимая переменная y является линейной функцией аргумента x в диапазоне, включающем все испытательные и экстраполированные точки;

5) погрешностями χ можно пренебречь, так как χ имеет одинаковое точно известное значение для всех образцов, состарившихся при одной и той же температуре

3. Неразрушающие методы измерений и проверочные испытания

Данные методы применимы в тех случаях, когда свойства контролируются с помощью неразрушающих измерений (разд. 1, способ Б.1) или с помощью определенного проверочного испытания (разд. 1, способ Б.2). Метод определения характеристик нагревостойкости в случае контроля свойства при разрушающем испытании (разд. 1, способ Б.3) приведен в разд. 4.

3.1. Срок службы

Общее количество образцов (N) подвергается воздействию k различных температур θ_i °С (где $i=1 \ldots k$). Число образцов n_i, подвергающихся воздействию при температуре θ_i °С, обозначается n_i ($N=\Sigma n_i$). Обычно эксперименты планируются с одинаковым числом (n) образцов, подвергаемых воздействию при всех температурах ($N=k \cdot n$), но возможны также вычисления в случаях, где n_i различны.

Для каждого образца срок службы обозначается t_{ij}, где i — соответствующая температура выдержки (θ_i °С); j — номер, присваиваемый образцу в пределах группы образцов n_i, подвергаемых воздействию при этой температуре, т. е. $j=1 \ldots n_i$.

3.1.1. *Непрерывная проверка*

При непрерывной проверке измеренные значения показателя свойства регистрируются непрерывно или путем частого испытательного воздействия на образец. По полученным в этом случае данным можно непосредственно определить время, когда уровень показателя свойства образцов становится ниже критерия конечной точки, т. е. индивидуальный срок службы t_{ij}.

3.1.2. *Циклические измерения*

Если измерения на образцах, подвергаемых старению при одной температуре, проводятся в заданные периоды времени $t_1, t_2 \ldots$, индивидуальный срок

службы каждого образца t_{ij} можно определить из графика зависимости свойства от времени.

3.1.3. *Проверочные испытания*

Если проверочное испытание проводится через заданные периоды времени, результат испытания определяется временем t_f, после которого впервые был достигнут критерий конечной точки, и непосредственно предшествующим временем t_{f-1}, когда критерий конечной точки еще не был достигнут.

За срок службы для данного случая принимается средняя величина этих двух времен, т. е.

$$t_{ij}=\frac{t_f+t_{f-1}}{2} \quad . \tag{32}$$

3.2. Уравнение регрессии

Для каждой величины температуры воздействия ϑ_i вычисляется величина x_i, обратная термодинамической температуре $\Theta_i=\vartheta_i+273$

$$x_i=\frac{1}{\Theta_i} \tag{33}$$

логарифм срока службы t_{ij}

$$y_{ij}=\lg t_{ij} \tag{34}$$

и среднее значение y_{ij}

$$\bar{y}_i=\frac{\Sigma y_{ij}}{n_i} \tag{35}$$

Коэффициенты уравнения регрессии

$$y=a+bx \tag{36}$$

определяются из уравнений

$$a=\bar{y}-b\bar{x} \tag{37}$$

$$b=\frac{N\Sigma(x_i\Sigma y_{ij})-(\Sigma n_i x_i)(\Sigma\Sigma y_{ij})}{N\Sigma n_i x_i^2-(\Sigma n_i x_i)^2} \quad , \tag{38}$$

где $\bar{x}$ — среднее взвешенное значение

$$\bar{x}=\frac{\Sigma n_i x_i}{\Sigma n_i} \quad ; \tag{39}$$

$\bar{y}$ — общее среднее значение

$$\bar{y}=\frac{\Sigma\Sigma y_{ij}}{\Sigma n_i}=\frac{\Sigma n_i\bar{y}_i}{\Sigma n_i} \quad . \tag{40}$$

3.3. График сроков службы

По уравнению регрессии строится график сроков службы с ординатой $y=\lg t$ и абсциссой $x=\frac{1}{\Theta}$. Обычно x на графике возрастает справа налево, а соответствующие величины ϑ °С отмечают на оси Θ для этой цели используют специальную бумагу для графиков (см. черт. 4).

Отдельные величины $y_{ij}=\lg t_{ij}$ и средние величины $\bar{y}_i=\lg t_i$ (где $\lg t_i$ — логарифмические средние величины времени до разрушения) наносятся на графике при соответствующих величинах

$$x_i=\frac{1}{\vartheta_i+273} \quad . \tag{41}$$

3.4. Температурный индекс

Температурный индекс (ТИ) определяют из графика сроков службы (п. 3.3), как температуру Φ °С, соответствующую на линии регрессии заданному времени t, равному обычно 20000 ч.

ТИ определяют только в тех случаях, если положение экспериментальных точек относительно линии регрессии оправдывает предположение линейной зависимости.

3.5. Проверка на равенство дисперсий

Для каждой величины i вычисляют дисперсии

$$s_{1i}^2 = \frac{n_i \Sigma y_{if}^2 - (\Sigma y_{if})^2}{n_i f_i} \qquad (42)$$

с $f_i = n_i - 1$ степенями свободы и их среднее взвешенное значение

$$s_1^2 = \frac{\Sigma f_i s_{1i}^2}{\Sigma f_i} \qquad (43)$$

с $f_1 = \Sigma f_i$ степенями свободы.

Равенство K дисперсий s_{1i}^2 проверяют методом Бартлетта на значащем уровне $\alpha = 0{,}05$ путем сравнивания испытательной стохастической переменной

$$\chi^2 = \frac{2{,}3[f_1 \lg s_1^2 - \Sigma(f_i \lg s_{1i}^2)]}{c}, \qquad (44)$$

где промежуточная постоянная

$$c = 1 + \frac{\left(\Sigma \frac{1}{f_i}\right) - \frac{1}{f_1}}{3(k-1)} \qquad (45)$$

и $f_1 = \Sigma f_i$ с табулированным значением χ^2 (0,95, k—1), где k—1 есть число степеней свободы χ^2 (табл. 6 и 7).

Если χ^2 больше табулированного значения, расхождения в s_{1i}^2 следует считать значимыми и величину χ^2 указывают в протоколе испытаний. Оцененное значение s_1^2 используют как суммарную оценку дисперсии в пределах K рядов измерений с f_1 степенями свободы.

3.6. Проверка на линейность

По уравнению регрессии вычисляют расчетные средние величины y согласно линии регрессии

$$Y = a + bx_i \qquad (46)$$

соответствующие K величинам x_i, и дисперсию

$$s_2^2 = \frac{\Sigma n_i (\overline{y}_i - Y_i)^2}{f_2} = \frac{(\Sigma n_i \overline{y}_i^2 - N\overline{y}^2) - b(\Sigma n_i x_i \overline{y}_i - N\overline{x}\,\overline{y})}{f_2} \qquad (47)$$

с $f_2 = k-2$ степенями свободы.

Суммарную дисперсию s_1^2 в пределах K рядов измерений сравнивают с дисперсией s_2^2 около линии регрессии по методу Фишера на значащем уровне $\alpha = 0{,}05$.

Экспериментальное значение переменной величины $F = \frac{s_2^2}{s_1^2}$ сравнивают с табулированным значением F (0,95, f_n, f_α) (табл. 6 и 7). В этом случае f_n

есть число степеней свободы числителя F и $f_в$ — знаменателя, т. е. $f_в$ равно f_2, вычисленному выше, и $f_н$ равно f_1 по п. 3.5.

Если F больше табулированной величины, отклонение от прямой линии считается значимым, и величина F должна быть внесена в протокол испытаний.

Суммарную оценку дисперсий вычисляют как

$$s^2=\frac{(N-k)\cdot s_1^2+(k-2)s_2^2}{N-2} \tag{48}$$

с $f=N-2$ степенями свободы.

3.7. Доверительный интервал для $\bar{y}$.

Нижняя граница 95 %-ного доверительного интервала для истинного значения y при данном значении X имеет вид

$$Y_c=Y-ts_y, \tag{49}$$

где

$$Y=a+bx \tag{50}$$

$$s_y^2=s^2\left[\frac{1}{N}+\frac{(X-\bar{x})^2N}{N\Sigma n_i x_i^2-(\Sigma n_i x_i)^2}\right] \tag{51}$$

и t есть табулированная величина коэффициента Стьюдента t с $f=N-2$ степенями свободы, соответствующая 95 %-ному доверительному интервалу t (0,95, f) (табл. 6 и 7). Y_c вычисляют для нескольких связанных между собой величин Y и X уравнения регрессии в пределах интересующего диапазона и по точкам (X, Y_c) строят график.

3.8. Температуры, соответствующие срокам службы 5000 и 20000 ч.

Из уравнения регрессии

$$Y=a+bx \tag{52}$$

вычисляют величины X_5 и X_{20}, соответствующие величинам

$$Y_5=\lg 5000=3{,}70 \tag{53}$$

$$Y_{20}=\lg 20000=4{,}30 \tag{54}$$

и, следовательно, соответствующие температуры в °С

$$\vartheta_5=\frac{1}{X_5}-273; \tag{55}$$

$$\vartheta_{20}=\frac{1}{X_{20}}-273. \tag{56}$$

3.9. Коэффициент вариации

Дисперсию Y_5, полученного из уравнения регрессии и соответствующего температуре ϑ_5, вычисляют как

$$s_y^2=s^2\left[\frac{1}{N}+\frac{(X_5-\bar{x})^2N}{N\Sigma n_i x_i^2-(\Sigma n_i x_i)^2}\right] \tag{57}$$

и отсюда коэффициент вариации

$$C_v=\frac{s_y}{\lg 5000}=\frac{s_y}{3{,}7}. \tag{58}$$

Если коэффициент вариации $C_v \leqslant 1{,}5$ %, диапазон нагревостойкости определяют как в п. 3.11, в противном случае приводят только график нагревостойкости (п. 3.3) и там, где возможно, температурный индекс (п. 3.4).

3.10. Граница доверительного интервала по θ_3

Нижнюю границу 95 %-ного доверительного интервала θ_c для температуры, соответствующей времени 5000 ч до критерия конечной точки, вычисляют как

$$X_c = \bar{x} + \frac{Y_3 - \bar{y}}{b_r} + \frac{ts_r}{b_r}, \qquad (59)$$

где

$$b_r = b - \frac{t^2 s^2}{b\Sigma n_i (x_i - \bar{x})^2}; \qquad (60)$$

$$s_r^2 = s^2 \left[\frac{b_r}{Nb} + \frac{(X_3 - \bar{x})^2 N}{N\Sigma n_i x_i^2 - (\Sigma n_i x_i)^2} \right] \qquad (61)$$

и t есть табулированное значение коэффициента Стьюдента с $f = N - 2$ степенями свободы, соответствующее 95 %-ному доверительному интервалу $t\,(0{,}95,\ f)$ (табл. 6 и 7) $\theta_c = \frac{1}{X_c} - 273$.

3.11. Диапазон нагревостойкости

Диапазон нагревостойкости (ДН) определяется числами, соответствующими температурам, дающим расчетные логарифмические средние значения сроков службы 20000 ч (θ_{20}) и 5000 ч (θ_5) (п. 3.8) и значением θ_c (п. 3.10),

$$\text{ДН}: \theta_{20}/\theta_5\,(\theta_c).$$

4. Разрушающие испытания

4.1. Общие положения

Когда определение изменения свойства проводят путем разрушающих испытаний (разд. 2, способ Б.3), число образцов, подвергаемых воздействию при каждой температуре, должно быть равно произведению числа образцов, испытанных в конце каждого интервала времени, и количества периодов времени $t_1, t_2, \ldots$, при которых проводят эти измерения.

Если, например, предполагается испытать 10 образцов в каждый из 9 периодов времени при 3-х различных температурах, то общее количество образцов составит $3 \times 8 \times 10 = 240$. Целесообразно подвергать воздействию каждой температуры дополнительные группы из 10 образцов, чтобы испытать их при более длительных временах воздействия, чем планировалось первоначально, если испытания указывают на более длительный срок службы при одной или нескольких температурах.

Целесообразно также начать воздействие на дополнительные группы образцов несколько позднее по времени, чтобы провести испытание в промежуточные периоды воздействия или в более короткие периоды времени по сравнению с первоначально запланированными, если в этом возникает необходимость в ходе эксперимента.

Математическая функция, описывающая взаимосвязь показателей свойства и времени, зависит от типа испытуемого материала, т. е. от порядка химических процессов, происходящих при старении, и от взаимосвязи химического состава и проверяемого свойства.

При выборе точного метода оценки необходимо учитывать теоретические знания и предшествующий опыт использования таких процессов и связей. По-

скольку образцы после испытания не используются, то невозможно проследить изменение свойства отдельных образцов и определить однозначно срок службы для каждого образца.

4.2. Срок службы

Для каждой испытательной температуры результаты наносятся на график зависимости измеряемой характеристики от времени старения. Пересечение построенной кривой с линией критерия конечной точки определяет срок службы при этой температуре t_f.

В стандартах на отдельные виды материалов может оговариваться специальная обработка результатов испытаний (например, вычерчивание логарифма показателей свойства в зависимости от времени или какой-либо другой функции свойства от логарифма времени с целью получения простого, например, приблизительно линейного графика). Кривая может быть приближена к экспериментальным точкам с помощью метода наименьших квадратов.

4.3. Расчеты

Расчеты осуществляют в основном согласно разд. 3, но поскольку только одна величина срока службы может быть получена из графика изменения свойства при каждой температуре (п. 4.2), n_i становится равным единице.

Поэтому нельзя определить величину s_i^2 (п. 3.5), которая основана на колебании y при фиксированной температуре; оценка s^2 дисперсии y должна проводиться только на основе разброса величин t_i по линии регрессии с $K-1$ степенями свободы.

Чтобы провести оценку степени соответствия кривых старения и линейности графика сроков службы, проводят грубую оценку дисперсии s_{ti}^2 при каждой температуре.

Предполагается, что кривые старения отдельных образцов идут параллельно средней кривой старения, полученной по п. 4.2 — во всяком случае в области, где кривая пересекает линию критерия конечной точки, — хотя в данном случае только одна точка каждой кривой может быть определена вследствие разрушающего характера испытания.

На графике зависимости изменения свойства от времени через точки, выражающие результаты испытаний отдельных образцов в периоды времени, близкие к времени достижения критерия конечной точки, проводят линии, параллельные средней линии, как показано на черт. 5, где линии проходят через пять точек, выражающих результаты при каждом из четырех периодов измерения, ближайших к времени t_f, где средняя линия (или линия наилучшего совпадения) пересекает линию, представляющую критерий конечной точки.

Периоды времени t_{if}, соответствующие точкам пересечения этих линий с линией критерия конечной точки, принимают за срок службы образцов при температуре θ_i и используют в расчетах в соответствии с пп. 3.5 и 3.6.

Однако эти вычисления дают только грубые оценки.

4.4. Температурный индекс

Температурный индекс (ТИ) в тех случаях, когда он применяется, определяют по п. 3.4.

4.5. Диапазон нагревостойкости

Коэффициент вариации (C_v) вычисляют в соответствии с п. 3.9. Если коэффициент вариации $C_v \leqslant 1{,}5\ \%$, диапазон нагревостойкости определяют по п. 3.11.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. **РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН** Министерством электротехнической промышленности СССР

ИСПОЛНИТЕЛИ

И. А. Соловьева, И. И. Кравцева

2. **УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ ПОСТАНОВЛЕНИЕМ** Государственного комитета СССР по стандартам от 20.05.88 № 1401

3. Срок первой проверки — IV квартал 1992 г.
Периодичность проверки — 5 лет

4. В стандарт введены международные стандарты МЭК 216—2—74, МЭК 216—3—80, МЭК 216—4—80
Стандарт соответствует СТ СЭВ 4127—83

5. Введен впервые

6. **ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ**

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта
ГОСТ 263—75	Приложение 1
ГОСТ 270—75	Приложение 1
ГОСТ 4647—80	Приложение 1
ГОСТ 4648—71	Приложение 1
ГОСТ 6433.1—71	6.1; 6.2
ГОСТ 6433.3—71	Приложение 1
ГОСТ 11262—80	Приложение 1
ГОСТ 13523.3—78	Приложение 1

Редактор *С. И. Бобарыкин*
Технический редактор *М. И. Максимова*
Корректор *Л. В. Малявская*

Сдано в наб. 28.06.88 Подп. в печ. 15.08.88 3,5 усл. п. л. 3,5 усл. кр. отт. 3,46 уч.-изд. л.
Тираж 8000 Цена 20 коп

Ючета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,
Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 1408

gost.e-ecolog.ru