УДК 621.315.4/6:620.169.1(083.74) Группа Е39

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ. МАТЕРИАЛЫ, ПОКРЫТИЯ, УЗЛЫ И ДЕТАЛИ

Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость в агрессивных средах. Общие положения

Electrical articles. Materials, coatings, assemblies, parts. Methods of accelerated life and storable life tests in aggressive media. General.

ГОСТ 21126—75

Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 5 сентября 1975 г. № 2345 срок действия установлен

с 01.07.76
до 01.07.81

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на электроизоляционные и конструкционные полимерные материалы, металлы и сплавы (далее — материалы), детали и узлы из них, в том числе конструкции электрической изоляции (далее — конструкции), а также на защитные покрытия от коррозии (далее — покрытия), применяемые в электротехнических изделиях, перечень которых установлен в ГОСТ 16962—71, приложение 2 (рекомендуется применение стандарта также для других видов изделий).

Стандарт устанавливает общие положения к методам исследовательских ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость в условиях воздействия агрессивных сред*.

Ускорение испытаний достигается ужесточением воздействия факторов внешней среды, за исключением механических воздействий.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1.1. Ускоренные испытания на долговечность и сохраняемость производят путем экспериментального определения коэффициентов зависимости срока L от значений основных воздействующих

* Термины, применяемые в настоящем стандарте, и их определения приведены в справочном приложении 1.

Издание официальное Перепечатка воспрещена

© Издательство стандартов, 1976

★

gost.e-ecolog.ru

факторов внешней среды: температуры, относительной влажности и концентрации агрессивной среды.

Для жидких сред требования, указанные в настоящем стандарте для относительной влажности среды, не учитывают.

Необходимо учитывать, что для каждого материала, покрытия или конструкции может быть получено более одной зависимости срока L от основных воздействующих факторов; при этом каждая зависимость определяется выбранными критериями, их уровнями, а также видами и уровнями других испытательных воздействий.

Примечание. Срок L представляет собой срок сохраняемости до ввода в эксплуатацию или же часть срока службы или весь срок службы, в течение которых агрессивная среда воздействует на изделия (их отдельные узлы, детали или покрытия), температура поверхности которых равна температуре внешней среды или превышает ее не более, чем на 5°С. В частности, для периода эксплуатации срок L определяется:

для греющихся изделий — сроком сохраняемости в эксплуатации;

для негреющихся изделий — сроком службы;

для покрытий, основное назначение которых состоит в защите от воздействия агрессивной среды, — ресурсом.

1.2. Методы настоящего стандарта применяют для изделий, эксплуатирующихся в агрессивных средах, определение которых приведено в справочном приложении 1. Эти методы могут быть применены также для эксплуатации изделий в других средах (например, в газовых средах заполнения — гелий, аргон, азот и др.); в этом случае испытания проводят при давлении и влажности среды, при которых требуется определить долговечность и сохраняемость.

Примечания:

1. При эксплуатации (или испытании) узлов и деталей, работающих в агрессивной среде под воздействием постоянного электрического напряжения (за исключением герметизированных узлов или деталей) или под электрическим напряжением 3000 В и более, могут наблюдаться дополнительные факторы, не учтенные в методах испытаний настоящего стандарта.

2. Методы настоящего стандарта не обеспечивают проверку электроизоляционных панелей (или материалов для них) электротехнических изделий на возможность образования токопроводящих мостиков при длительной эксплуатации изделий в газовых средах. Долговечность в этих случаях обеспечивается правильным выбором материалов панелей, испытанных по методике, утвержденной в установленном порядке.

1.3. Методы настоящего стандарта применяют для определения долговечности и сохраняемости при эксплуатации в средах, содержащих:

один агрессивный компонент (помимо кислорода воздуха);

несколько компонентов, если заранее известно, что только один агрессивный компонент вызывает отказы изделий. В этом случае действием остальных компонентов пренебрегают и испытания проводят в среде компонента, вызывающего отказы.

В других случаях многокомпонентных агрессивных сред эти методы могут быть применены, если все компоненты (или все ком-

поненты, кроме одного) содержатся в испытательной среде при рабочих концентрациях.

1.4. Испытания проводят при нескольких значениях температуры и относительной влажности среды, увеличенных по сравнению с рабочими значениями (для воздушной среды — по сравнению с рабочими значениями сочетаний температуры и влажности воздуха — по ГОСТ 15150—69*), а также при нескольких концентрациях агрессивной среды, увеличенных по сравнению с верхним рабочим значением, указываемым в стандартах на материалы или изделия. Допускается при испытаниях не увеличивать значение одного или двух факторов внешней среды по сравнению с рабочим значением.

1.5. При испытании материалов в виде образцов по методам для материалов результаты испытаний используют для предварительной оценки долговечности материалов. Для определения долговечности и сохраняемости материалов в составе изделия должны быть проведены испытания материалов в составе покрытий или конструкций по методам для покрытий или конструкций, если иное не указано в методах испытаний для материалов.

В стандартах на методы испытаний конкретных материалов или покрытий способы приложения воздействий, виды воздействующих факторов, критерий отказа, а также форма образца должны соответствовать преимущественному применению материала или покрытия в конструкциях. Если возможно несколько основных применений материала или покрытия, то могут быть разработаны несколько методов испытаний.

2. МЕТОДЫ ОТБОРА ОБРАЗЦОВ

2.1. В стандартах на методы испытаний конкретных материалов, покрытий или конструкций (далее — стандарты на методы испытаний)** должны быть даны соответствующие указания по конструкции образцов для испытаний и способам их подготовки. Размеры образцов выбирают с учетом размеров реальных конструкций, где предполагают применять материал или сочетание материалов. При этом размеры испытываемых образцов конструкций должны, по возможности, приближаться к реальной конструкции (выбранной в качестве типовой для данного вида изделий) с учетом экономических соображений и удобства проведения испытаний.

2.2. При испытании материалов испытывают как отдельные материалы, так и простые сочетания материалов (например, про-

* Для специальных изделий условия эксплуатации принимают по технической документации, утвержденной в установленном порядке.

** Здесь и далее при отсутствии стандартов методы испытаний устанавливают в технической документации, утвержденной в установленном порядке.

питанные эмалированные провода, пленкокартон). При испытании покрытий учитывают влияние подложки.

2.3. Для испытаний конструкций следует применять макеты или отдельные узлы изделий, если это указано в стандартах на методы испытаний. Допускается проводить испытания изделий в сборе с оценкой отдельных узлов или изделия в целом.

Конструкция макетов должна вопроизводить основные элементы конструкции готовых изделий или их реальных узлов.

Конструкция макетов и узлов должна позволять имитировать основные эксплуатационные воздействия, способствующие старению или его выявлению.

2.4. В стандартах на методы испытаний должны быть предусмотрены контрольные испытания, которым до начала испытаний на долговечность и сохраняемость подвергают образцы для проверки их качества и идентичности.

2.5. Испытания проводят на образцах, не подвергающихся старению или износу в эксплуатации или при испытаниях, имитирующих эксплуатацию.

Испытания электроизоляционных материалов и конструкций проводят также на образцах, подвергнутых старению в соответствии с ГОСТ 10518—72 на 50 и 80% ресурса. Это требование не распространяется на неорганические материалы и конструкции из этих материалов, не содержащие органических или элементоорганических компонентов. Рекомендуется проводить такие испытания на образцах неэлектроизоляционных полимерных материалов и конструкций.

2.6. В стандартах на методы испытаний должно быть указано минимально допустимое число образцов, требуемое для получения необходимой статистической достоверности результатов.

2.7. Для образцов, испытываемых при всех испытательных воздействиях, должны применяться материалы из одной партии, однородные по внешнему виду и удовлетворяющие требованиям соответствующих стандартов.

Для проверки тождественности результатов рекомендуется проводить повторные испытания образцов, в которых применены материалы из других партий.

3. АППАРАТУРА

3.1. Испытательная камера должна позволять поддерживать в месте расположения образцов температуру с погрешностью ±2°С. Допускаются отдельные кратковременные — не более 15 мин за 6 ч — отклонения ±5°С. Перепад температуры внутри камеры в местах расположения образцов не должен превышать 2°С. Камера должна иметь устройства для электрических вводов для проведения измерений и, при необходимости, для обеспечения работы

изделий, а также устройства для измерения температуры воздуха или газовой среды.

3.2. Камера для испытаний в газовых агрессивных средах дополнительно должна удовлетворять следующим требованиям:

позволять поддерживать относительную влажность с погрешностью ±5% и концентрацию агрессивного газа с погрешностью ±25% величины концентрации при испытаниях;

иметь устройства для перемешивания среды со скоростью 1—2 м/с, устройства для отбора проб среды, ввода среды извне, эвакуации среды по окончании испытаний.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

4.1. Испытания проводят циклически, с повторяющимися циклами. Каждый цикл состоит из совместного воздействия основных разрушающих факторов и одновременного или попеременного воздействия дополнительных испытательных факторов, имитирующих другие (по сравнению с п. 1.1) эксплуатационные факторы, воздействующие на материалы, покрытия или конструкцию.

При этом следует учитывать, что одинаковые факторы (например, влажность воздуха) могут либо вызывать разрушение, либо только выявлять уже произведенное разрушение в зависимости от значения и продолжительности действия фактора, его сочетания с другими факторами и последовательности приложения испытательных воздействий.

Допускается проводить нециклические испытания, если заранее известно, что разрушение вызывают только одновременно воздействующие испытательные факторы, а остальные факторы только его выявляют.

4.2. Испытания продолжают до наступления отказа всех образцов в процессе испытаний.

Если невозможно проводить испытания до наступления отказа, допускается проводить испытания путем определения зависимости величины и (или) распределения значений параметра—критерия отказа материала, покрытия или конструкции от времени воздействия испытательных факторов, что должно быть указано в стандартах на методы испытаний. В частности, если математическая функция зависимости значения параметра—критерия отказа от времени воздействия испытательных факторов может быть представлена в виде прямой линии, применяют метод, указанный в приложении 2.

Допускается также проводить испытания по требованиям п. 4.11 до наступления отказа части образцов.

4.3. В стандартах на методы испытаний должны быть указаны виды и последовательность приложения испытательных факторов. Например, для конструкции изоляции, предназначенной для ра-

боты в газовой среде, предпочтительна следующая последовательность приложений испытательных факторов: приложение разрушающих факторов по п. 1.1, механические воздействия, увлажнение, приложение испытательного напряжения.

4.4. При проведении испытаний по каждому из основных видов воздействующих факторов по п. 1.1 следует получить не менее трех экспериментальных режимов, причем один режим может быть общим для нескольких видов воздействующих факторов. Для этого проводят три или больше серий испытаний. В каждой серии испытаний один из воздействующих факторов при каждом испытании изменяют, остальные сохраняют неизменными, что позволяет определить зависимости:

$$\lg L = f(\lg C) \text{ при } \eta = \text{const}; \; T = \text{const};$$
$$\lg L = \varphi(\lg \eta) \text{ при } C = \text{const}; \; T = \text{const};$$
$$\lg L = \psi(T) \text{ при } \eta = \text{const}; \; C = \text{const}.$$

Если математическая функция зависимости параметра—критерия отказа от времени воздействия агрессивной среды может быть представлена в виде прямой линии, вместо срока L может быть применена скорость (b_2) изменения указанной функции, с учетом того, что $b_2 = \frac{K_1}{L}$, где K_1 — постоянная величина.

Общее число испытательных режимов, необходимых для определения влияния основных воздействующих факторов, должно быть не менее семи.

Если в соответствии с п. 1.4 испытания проводят при одном (сравнимом с рабочим) значении одного или двух факторов внешней среды, то проводят соответственно две или одну серию испытаний. При этом общее число испытательных режимов должно быть не менее пяти или трех соответственно.

В зависимости от ряда факторов возможно несколько вариантов планов проведения эксперимента, указанных в приложении 3.

4.5. При выборе максимальных значений испытательных факторов ограничиваются значениями, при которых один доминирующий процесс разрушения заменяется другим. Эти максимальные значения допускается определять при помощи косвенных критериев. При этом следует учитывать, что изменение процесса разрушения, определенное по косвенному критерию, не всегда воспроизводится при определении по прямому критерию. Если максимальное значение испытательного фактора неизвестно, допускается проводить испытания по требованиям п. 5.3.

Если материалы, покрытия или конструкции предназначены для эксплуатации в воздушной среде при нормальных рабочих значениях температуры и влажности по ГОСТ 15150—69, то для проведения испытаний предпочтительно выбирать температуры 50, 70 и 90°С, относительные влажности 65, 80 и 100% и не менее трех зна-

чений концентрации агрессивного газа. Крайние значения диапазона испытательных концентраций выбирают в зависимости от нормированного верхнего рабочего значения концентрации с учетом возможности экстраполяции (п. 5.1).

Например, при верхнем рабочем значении $C=0{,}005$ г/м^3 испытательные концентрации принимают в диапазоне 0,1—100 г/м^3.

4.6. При включении в испытательный цикл механических воздействий в стандартах на методы испытаний должны быть указаны их интенсивность, направление и время действия. Если в цикл вводят увлажнение как фактор, выявляющий разрушение образцов, то образцы конструкций подвергают увлажнению в соответствии с таблицей.

Климатическое исполнение и категория изделий по ГОСТ 15150—69, для которых предназначены образцы		Параметры режима увлажнения		
Исполнение	Категория	Температура, °С	Относительная влажность, %	Продолжительность, сутки
У; ХЛ; ТС	4; 1.1	20±5	95±3	1
У; ХЛ	3	35±2*	95±3	1
	5		100	
О; В; Т; ТВ	4.2		35±3	
М	3; 4		95±3	
	1.1		100	
О; В; ОМ; Т; ТВ	3; 4	40±2	95±3	2
	1.1		100	
	5		100	5

* Допускается проводить испытание при температуре 20±5°С в течение 3 суток.

4.7. Если можно установить предполагаемый срок L по п. 1.1 на основе предварительной информации, то продолжительность воздействия основных испытательных факторов выбирают в каждом цикле так, чтобы среднее число циклов до наступления отказа составляло 7—10. Если предполагаемый срок установить нельзя, продолжительность воздействия факторов в каждом цикле выбирают, исходя из необходимости получения достаточной информации в результате измерения параметров образцов после каждого цикла. При этом продолжительность циклов предпочтительно устанавливать различной: меньшую на первых циклах и большую — на последующих.

Среднее число циклов для каждого образца вычисляют как среднее арифметическое до наступления отказа, включая цикл, в котором произошел отказ.

Поскольку число циклов может влиять на долговечность и сохраняемость образцов в условиях испытаний, достоверными следует считать испытания, при которых средние числа циклов при каждом режиме испытаний не отличаются друг от друга более чем в два раза. При этом среднее число циклов при любом испытательном режиме должно быть не менее семи.

Если при испытании на одном испытательном режиме вышло из строя 100% образцов, а при других испытательных режимах за такое же время вышло из строя менее 50% образцов, то время выдержки увеличивают в 2—3 раза без изменения параметров испытательного режима. Если же среднее число циклов будет менее семи, то испытания повторяют (если требуются достоверные результаты для данного материала или конструкции), но при этом уменьшают продолжительность цикла без изменения параметров испытательного режима.

4.8. Образцы загружают в предварительно прогретую камеру. При проведении испытаний в газовой среде после загрузки образцов повышают относительную влажность до заданного значения, и в камеру подают агрессивный газ. Время начала испытательного цикла считается с момента достижения в камере требуемых параметров воздействующих факторов. При испытаниях в газовой среде образцы должны быть размещены в камере так, чтобы газ внутри камеры мог свободно обдувать их.

4.9. Для электроизоляционных материалов и конструкций изоляции электротехнических изделий за критерий отказа рекомендуется применять пробой при воздействии испытательного напряжения. Значение испытательного напряжения выбирают в зависимости от функции, которую выполняют материалы в конструкции. Значение испытательного напряжения должно быть достаточно высоким, чтобы можно было установить критическую степень деструкции изоляции, но в то же время не настолько высоким, чтобы изменить характер старения изоляции, определяемый воздействием основных разрушающих факторов, или вывести изоляцию из строя в том состоянии, когда она еще способна выполнять свои функции в данной конструкции.

В стандартах на методы испытаний указывают длительность приложения испытательного напряжения и стадию цикла, на которой его прикладывают.

Для электроизоляционных материалов и конструкций изоляции других изделий допускается применять другие критерии отказа (например, удельное объемное сопротивление, волновые параметры, механическую прочность, тангенс угла диэлектрических потерь), если этими критериями в большей степени, чем прило-

женным напряжением, определяется работоспособность конструкции.

Для неэлектроизоляционных материалов и конструкций критерии отказа указывают в стандартах на методы испытаний.

4.10. Во всех случаях следует учитывать абсолютное значение измеряемого параметра, а не степень его снижения по отношению к исходному значению.

4.11. Если в соответствии с п. 4.2 ожидается (но окончательно не подтверждено), что зависимость математической функции параметра—критерия отказа $f(П)$ от времени может быть представлена в виде прямой линии (например, если за критерий отказа принят пробой при воздействии испытательного электрического напряжения в соответствии с п. 4.10), для наиболее слабых режимов в каждой серии испытаний (п. 4.5) допускается проводить испытания в следующем порядке:

а) для испытаний по соответствующему режиму применяют удвоенное число образцов;

б) через 15—20% ожидаемого срока L определяют значения $f(П)$ у половины испытываемых образцов (или отдельно элементов конструкции) и вычисляют среднее этих значений. Например, определяют значения пробивных напряжений и вычисляют среднее логарифмов этих значений;

в) если у оставшихся образцов не наступили отказы, то спустя 40—60% ожидаемого срока L определяют значения $f(П)$ у половины оставшихся образцов и вычисляют среднее этих значений;

г) по полученным данным в масштабе $f(П)$ от времени (τ) производят экстраполяцию по времени до критического значения критерия отказа (например, до значения испытательного напряжения) и прогнозируют средний срок L в этом режиме, при этом на график наносят среднее значение $f(П)$, например, логарифмов пробивных напряжений.

Здесь $f(П)$ — функция параметра—критерия отказа (например, $\lg U$, где — U значения пробивного напряжения);

τ — суммарное время воздействия испытательной среды во всех проведенных циклах испытаний;

д) определяют средний срок L в данном режиме по результатам двух других режимов каждой серии испытаний путем линейной экстраполяции соответственно в масштабе

$$\lg L — \lg C \text{ или } \lg L — \lg \eta \text{ или } \lg L — \frac{1}{T};$$

е) сравнивают средние сроки L, определенные по требованиям подпунктов *г* и *д*;

ж) если между сроками (подпункт *е*) различия несущественны, определяют значение $f(П)$ (например, значение логарифмов пробивных напряжений) оставшихся образцов и по этим данным

уточняют средний прогнозируемый срок L в данном режиме. Этот срок принимают для расчетов по разд. 5 настоящего стандарта;

з) если между сроками (подпункт *е*) различия существенны, то испытания оставшихся образцов продолжают до наступления отказа в режиме испытаний. Полученные при этом сроки L принимают для расчетов по разд. 5 настоящего стандарта;

и) линейную экстраполяцию по подпунктам *г* и *д* проводят при помощи метода наименьших квадратов с определением дисперсии по срокам L; сравнение сроков L по подпункту *е* производят при помощи дисперсионного анализа с использованием критерия Фишера.

4.12. При испытании конструкций отказом конструкции считают первый отказ любого элемента конструкции. Допускается продолжение испытаний образца для оценки поведения остальных элементов. При этом принимают во внимание возможность частичного повреждения остальных элементов конструкции при отказе первого. Время до отказа этих остальных элементов учитывают отдельно и не включают в срок L.

В тех случаях, когда необходимо получить данные по одному элементу конструкции, допускается усиление (защита) других элементов.

4.13. В стандартах на методы испытаний должна быть установлена стадия цикла, на которой производится измерение параметров—критериев отказа или приложение воздействий, выявляющих произведенное разрушение.

В частности, если измерения или приложение выявляющих воздействий производят после таких разрушающих воздействий, влияние которых изменяется во времени, должно быть указано время, в течение которого после разрушающего воздействия должно быть произведено измерение или приложено выявляющее воздействие.

Предпочтительно, чтобы указанные измерения производились в одинаковых условиях, а уровень выявляющих воздействий был одинаков во всех экспериментальных режимах, независимо от уровня разрушающих воздействий в данном режиме.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

5.1. Результаты испытаний выражают в виде математической зависимости срока L от основных воздействующих факторов (п. 1.1):

$$L = Ae^{\frac{B}{T}} C^{-m} \eta^{-n} \qquad (1)$$

или

$$\lg L = A' + \frac{B'}{T} - m \lg C - n \lg \eta, \qquad (2)$$

где A, A', B, B', m, n — постоянные коэффициенты. Для жидких сред n принимают равным нулю;

T — температура, К;

η — относительная влажность, %;

C — концентрация агрессивной среды, г/м^3 или %.

Допускается также применять графические зависимости.

По результатам ускоренных испытаний производят экстраполяцию результатов в области эффективных значений испытательных факторов*.

Экстраполяцию следует проводить не более чем на 50% разности логарифмов максимального и минимального из испытательных значений относительной влажности и концентрации агрессивной среды и на 50% разности между максимальным и минимальным значениями испытательных температур в масштабе $1/T$. Допускается расширить пределы экстраполяции, если в результате изучения механизма возникновения отказа выявлено, что в расширенных пределах не должно происходить изменение коэффициентов формулы (1) или (2).

5.2. Экспериментальные данные для получения аналитической зависимости срока L материала, покрытия или конструкции от температуры, влажности и концентрации агрессивной среды обрабатывают по методу наименьших квадратов с вычислением среднего логарифмического срока L и коэффициентов зависимостей (п. 5.1) и, если требуется, нижних доверительных пределов для среднего, а также нижних толерантных пределов для различных вероятностей безотказного хранения или безотказной работы. Возможно также определение вероятности безотказного хранения или безотказной работы при заданном сроке сохраняемости в эксплуатации.

Метод расчетов приведен в приложениях 2 ,3, 4 и 5.

Пример обработки экспериментальных данных приведен в справочном приложении 6.

5.3. Если зависимость среднего логарифмического срока L (или логарифма средней скорости b_2) от какого-либо из воздействую-

* Если изделия предназначены для эксплуатации или хранения в условиях внешней среды по ГОСТ 15150—69, то в качестве эффективных значений при экстраполяции принимают:

средние рабочие значения сочетаний температуры и влажности в наиболее теплый и влажный период по ГОСТ 15150—69 (с учетом продолжительности их воздействия) — по температуре и влажности;

среднелогарифмическое значение содержания коррозионно активных агентов для соответствующих типов атмосферы по ГОСТ 15150—69 — по концентрации агрессивной среды; если в стандартах на изделия нормированы дополнительные виды коррозионно-активных агентов или другие агрессивные среды — верхнее номинальное значение концентрации агрессивной среды, указанное для длительной работы (например, санитарно допустимые нормы для газовых сред), если в стандартах на изделия не указано иное.

щих факторов, определенная по п. 4.4 и вычисленная по формуле (2), резко отлична от линейной, для окончательного установления характера этой зависимости от данного фактора проводят дополнительные испытания. Эти испытания проводят не менее чем при двух значениях испытательного фактора, не совпадающих с прежними значениями (предпочтительно, чтобы дополнительные значения лежали между первоначальными). При этом предпочтительно проводить параллельные испытания материалов, покрытий или конструкций, характер зависимости которых от данного испытательного фактора не вызывает сомнений.

Экспериментальные данные в соответствии с п. 5.2 обрабатывают в этом случае по линейной части зависимости логарифма срока L от какого-либо из воздействующих факторов, причем не менее чем по трем экспериментальным точкам, исключая из рассмотрения значения факторов, более жесткие, чем значения при точке перегиба.

Допускается не проводить дополнительных испытаний, если:

при первоначальных испытаниях были соблюдены требования настоящего пункта в части общего числа значений испытательных факторов;

отклонения от линейной зависимости имеются (или предполагают) только для зависимостей от концентрации и влажности, а результаты обработаны по вариантам 4 и 5 приложения 3.

5.4. Если результаты испытаний используют для установления режима ускоренных контрольных испытаний при одном значении каждого испытательного фактора, определяют коэффициент ускорения испытаний следующим образом:

а) в соответствии с выбранными значениями испытательных параметров агрессивной среды определяют среднее значение коэффициента ускорения испытаний $K_{уск}$ по формуле

$$\lg K_{уск}=a_2(x_э-x_и)+a_3(y_э-y_и)+a_4(z_э-z_и), \qquad (3)$$

где $x_э$; $y_э$; $z_э$ — значения x, y, z (формула (1) приложения 3) соответствуют эффективным значениям параметров агрессивной среды;

$x_и$; $y_и$; $z_и$ — значения x, y, z (формула (1) приложения 3) соответствуют параметрам агрессивной среды при испытании.

Параметры испытательной среды предпочтительно выбирать такими, чтобы коэффициент ускорения испытаний был не более 400 и с учетом п. 5.3 настоящего стандарта;

б) по результатам испытаний определяют нижний доверительный предел для среднего значения и нижние толерантные предельные значения коэффициентов ускорения с необходимой вероятностью.

5.5. Форма протокола испытаний приведена в справочном приложении 7.

6. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

6.1. Метеорологические условия, уровни звукового давления, уровни громкости звука и содержание вредных примесей в рабочей зоне помещений для испытаний не должны превышать норм, установленных СН245—71.

6.2. Электробезопасность при испытаниях должна обеспечиваться в соответствии с «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденными Госэнергонадзором 12 апреля 1969 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТАНДАРТЕ

Срок сохраняемости в эксплуатации материалов, конструкции изоляции в изделии — суммарное время, в течение которого материалы или конструкции изоляции могут выполнять свои функции при воздействии факторов внешней среды на находящееся в нерабочем состоянии изделие; последнее при этом может периодически включаться для работы*.

Срок сохраняемости образцов материалов или конструкции изоляции — условное понятие, выражающееся временем, в течение которого критерии отказа материалов или конструкции изоляции превышают установленное критическое значение в условиях испытаний**.

Агрессивная среда — среда, обладающая кислотным, основным или окислительным действием и вызывающая разрушение (или ухудшения параметров) материалов и (или) изделий.

Греющееся изделие* — изделие, у которого превышение температуры отдельных узлов, чувствительных к температуре, влажности, агрессивной среде, или изделия в целом над температурой внешней среды (при нагрузке, соответствующей верхнему значению температуры внешней среды) составляет 10°С и более; или у которого превышение температуры поверхности над температурой внешней среды при той же нагрузке составляет 5°С и более.

Критерий отказа — параметр, определяющий работоспособность изделия, конструкции изоляции, покрытия, материала.

Критическое значение критерия отказа — предельное значение критерия отказа, при котором изделие, конструкция изоляции, покрытие, материал еще удовлетворяют предъявленным к нему требованиям в условиях эксплуатации, хранения до ввода в эксплуатацию или испытаний.

Коэффициент ускорения испытаний — величина, показывающая, во сколько раз уменьшается значение показателей долговечности или срок сохраняемости при испытаниях относительно заданных значений показателей долговечности или срока сохраняемости в эксплуатации или при хранении до ввода в эксплуатацию.

Примечание. На практике при испытаниях для подтверждения заданных (в частности, гарантийных) сроков под коэффициентом ускорения понимают величину, равную указанной выше и показывающую, во сколько раз уменьшается время испытаний по сравнению с заданным сроком эксплуатации или сохраняемости.

---

* Аналогично определяют срок службы или ресурс материалов или конструкции изоляции в изделии.

** Аналогично определяют срок службы или ресурс образцов материалов или конструкции изоляции.

*** В некоторой нормативно-технической документации—«тепловыделяющее изделие».

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Обязательное

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АГРЕССИВНЫХ СРЕД СРАВНЕНИЕМ СКОРОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ—КРИТЕРИЕВ ОТКАЗА

1. Метод применяют в случаях, когда математическая функция зависимости величины критерия отказа от времени воздействия испытательных факторов может быть представлена в виде прямой линии до момента достижения критического значения критерия отказа, т. е. может быть выражена формулой

$$f(П) = b_1 - b_2\tau, \qquad (1)$$

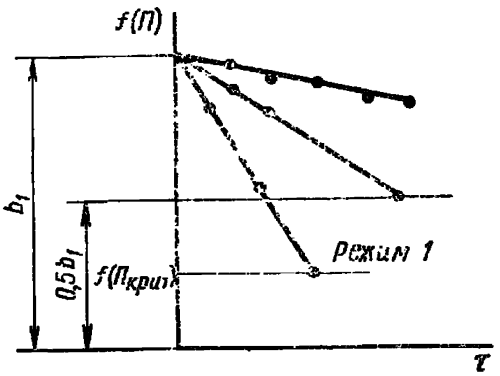
где $П$ — величина критерия отказа;

$f(П)$ — соответствующая математическая функция П (например, во многих случаях $f(П) = \lg П$);

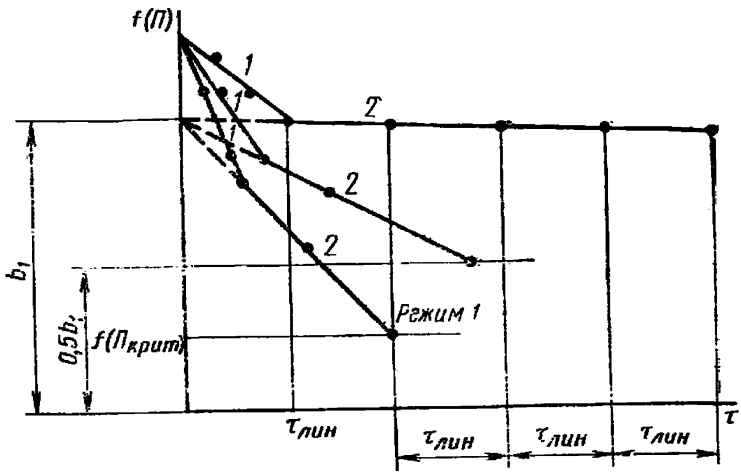
τ — длительность воздействия агрессивной среды при испытаниях;

b_1 и b_2 — величины, постоянные для данного режима испытаний и вида образца (b_2 — скорость изменения $f(П)$ от времени воздействия агрессивной среды).

Схематическое изображение вариантов зависимостей по формуле (1), для которых может быть применен настоящий метод, приведено на черт. 1 и 2, причем для варианта, указанного на черт. 2, здесь и далее под зависимостью по формуле (1) понимают участок *2*.



Черт. 1



Черт. 2

2. В каждом испытательном режиме, выбранном по разд. 4 настоящего стандарта, определяют зависимость критерия отказа от времени воздействия испытательных факторов. При этом зависимость должна быть получена не менее чем по трем экспериментальным точкам, каждая из которых должна быть получена в результате испытаний не менее четырех образцов. Если по данному виду основного испытательного воздействия используют три режима испытаний, то для наиболее слабого режима эта зависимость должна быть получена не менее чем по пяти экспериментальным точкам.

3. При выборе величин воздействующих факторов и времени испытаний в каждой серии испытаний по разд. 4 настоящего стандарта руководствуются следующим:

а) испытание в самом жестком режиме данной серии проводят до снижения среднего значения критерия отказа до критического значения. При неразрушающих измерениях критерия отказа рекомендуется проводить испытание до отказа каждого образца;

б) продолжительность испытания в промежуточном режиме должна быть не менее времени, необходимого для того, чтобы $f(П)$ стало равным $0{,}5\ b_1$ (черт. 1, 2);

в) продолжительность испытания в самом слабом режиме должна быть не менее продолжительности испытаний в промежуточном режиме, при этом для варианта по черт. 2 интервалы времени между соседними экспериментальными точками должны быть не менее $\tau_{лин}$ (черт. 2). Значение испытательного воздействия в самом слабом режиме рекомендуется выбирать возможно более близким к рабочим значениям воздействующего фактора по разд. 5 настоящего стандарта;

г) планы эксперимента в части выбора видов и значений воздействующих факторов выбирают по приложению 3.

4. По результатам испытаний для каждого из режимов испытаний определяют среднюю скорость b_2 методом наименьших квадратов с определением дисперсии и нижнего доверительного предела для среднего.

5. Используя определенные по п. 4 значения b_2, вычисляют по приложению 3 коэффициенты a_2; a_3; a_4 формулы (1) приложения 3.

6. Определяют коэффициент ускорения в соответствии с п. 5.4 настоящего стандарта.

7. Среднюю скорость b_2 в каждом режиме (п. 4) определяют в последовательности, приведенной ниже.

7.1. Вычисляют средние значения $\overline{f'(П)}_{изм}$ для каждого периода времени измерения параметра — критерия отказа (для каждой экспериментальной точки по п. 2 настоящего приложения)

$$\overline{f'(П)}_{изм} = \frac{\sum f(П)_{изм}}{n'_{изм}}, \qquad (2)$$

где $f(П)_{изм}$ — значение $f(П)$ для каждого образца при данном времени измерения;

$n'_{изм}$ — число образцов, проверенных при окончании данного периода времени измерения.

7.2. При необходимости корректируют результаты испытаний, исключая из рассмотрения образцы с резко выделяющимися значениями $f(П)$. Резко выделяющиеся значения оценивают по приложению 4, подставляя в соответствующие формулы значения $f(П)$ вместо указанных в приложении 4 значений U. Затем вычисляют среднее корректированное значение $\overline{f(П)}_{изм}$.

$$\overline{f(П)}_{изм} = \frac{\sum f(П)_{изм}}{n_{изм}}, \qquad (3)$$

где $n_{изм}$ — оставленное для рассмотрения число образцов, проверенных при данном времени измерения.

7.3. Определяют средние значения $\overline{\tau}_{реж}$ и $\overline{f(П)}_{реж}$

$$\overline{\tau}_{реж} = \frac{\sum \tau_{реж}}{n_{реж}}; \qquad \overline{f(П)}_{реж} = \frac{\sum \overline{f(П)}_{изм}}{n_{реж}}, \qquad (4)$$

где $n_{реж}$ — число периодов времени измерений в данном режиме (например, для режима 1 черт. 1 $n_{реж}=4$; для режима 1 черт. 2 $n_{реж}=3$);

$\tau_{реж}$ — время воздействия испытательной среды до момента данного измерения (для начального измерения по черт. 1 $\tau_{реж}=0$).

7.4. Находят среднее значение скорости b_2 по формуле

$$b_2 = \frac{\sum_{n_{реж}} [\overline{f(П)}_{изм} - \overline{f(П)}_{реж}](\tau_{реж} - \overline{\tau}_{реж})}{\sum_{n_{реж}} (\tau_{реж} - \overline{\tau}_{реж})^2}. \qquad (5)$$

7.5. Определяют коэффициент b_1

$$b_1 = \overline{f(П)}_{реж} - b_2\overline{\tau}_{реж}. \qquad (6)$$

7.6. Если вызывает сомнение соответствие экспериментальных данных формуле (1), проверяют гипотезу линейности. Если гипотеза линейности не принимается, методику испытаний по данному приложению применять нельзя.

Гипотезу линейности проверяют следующим образом:

а) определяют $S^2_{изм}$

$$S^2_{изм} = \frac{\sum_{n_{реж}} \sum_{n_{изм}} [f(П)_{изм} - \overline{f(П)}_{изм}]^2}{\sum_{n_{изм}} (n_{изм} - 1)}; \qquad (7)$$

б) определяют $S^2_{\hat{f}}$

$$S^2_{\hat{f}} = \frac{\sum^{n_{реж}} n_{изм}[\overline{f}(П)_{изм} - \hat{f}(П)_{изм}]^2}{n_{реж} - 2}; \quad (8)$$

в) вычисляют дисперсионное отношение

$$F = \frac{S^2_{\hat{f}}}{S^2_{изм}}; \quad (9)$$

г) полученное значение F сравнивают с $F_{табл}$, взятым для необходимого уровня значимости, причем в качестве значений степеней свободы $f(2)$ и $f(1)$ принимают знаменатели формул (7) и (8) соответственно. Гипотеза линейности не принимается, если $F_{табл} < F$.

7.7. Если экспериментальные данные образуют зависимости, соответствующие черт. 2, сравнивают коэффициенты b_1 для всех режимов при помощи дисперсионного анализа с использованием критерия Фишера.

Если различия между коэффициентами существенны, методику испытаний по данному приложению применять нельзя.

Проверку осуществляют следующим образом:

а) определяют для каждого режима $S^2_{b_1}$

$$S^2_{b_1} = \frac{S^2_{f(П)_{реж}}}{n_i}. \quad (10)$$

Обозначения те же, что в формуле (15);

б) определяют среднюю дисперсию режимов $\overline{S}^2_{b_1}$

$$\overline{S}^2_{b_1} = \frac{\Sigma S^2_{b_1}}{n_{реж}}. \quad (11)$$

Число степеней свободы здесь $f(2) = \sum^{n_{реж}} n_{ib}$;

в) определяют дисперсию средних значений b_1 для всех режимов

$$S^2_{\overline{b}_1} = \frac{\sum^{n_{реж}} (b_1 - \overline{b}_1)^2}{n_{реж} - 1}; \quad (12)$$

$$\overline{b}_1 = \frac{\sum^{n_{реж}} b_1}{n_{реж}}. \quad (13)$$

Число степеней свободы здесь $f(1) = n_{реж} - 1$;

г) вычисляют дисперсионное отношение

$$F_{b1} = \frac{S^2_{\overline{b}_1}}{\overline{S}^2_{b_1}}. \quad (14)$$

Полученное значение сравнивают с $F_{табл}$, взятым для необходимого уровня значимости, причем значение степеней свободы вычисляют для числителя и знаменателя формулы (14), как указано выше.

Если $F_{b_1} \geqslant F_{табл}$, различия между коэффициентами b_1 считают существенными.

8. Дисперсии и нижние доверительные пределы для средней скорости b_2 (п. 4) определяют для каждого режима в приведенной ниже последовательности.

8.1. Определяют дисперсию значений $f(П)$ для данного режима

$$S^2_{f(П)_{реж}} = \frac{\sum\limits_{n_{реж}} \sum\limits_{n_{изм}} [f(П)_{изм} - \hat{f}(П)_{изм}]^2}{n_i - 2}, \quad (15)$$

где $f(П)_{изм}$ — то же, что в формуле (2);

$n_{изм}$ — то же, что в формуле (3);

$n_{реж}$ — то же, что в формуле (4);

n_i — общее число образцов, оставленных для рассмотрения в данном режиме;

$\hat{f}(П)_{изм}$ — значение $f(П)$, вычисленное для каждого времени измерений τ по формуле (1) с подстановкой значений b_2 и b_1, определенных по формулам (5) и (6).

8.2. Определяют дисперсию значений b_2 данного режима

$$S^2_{b_2} = S^2_{f(П)_{реж}} \cdot \frac{1}{\sum\limits_{n_{реж}} n_{изм}(\tau_{реж} - \bar{\tau}_{реж})^2}. \quad (16)$$

Число степеней свободы для $S^2_{b_2}$:

$$f_{S_{b_2}} = n_i - 2.$$

8.3. Определяют нижний доверительный предел b_{2P*} для среднего значения b_2 по заданной доверительной вероятности P^*.

$$b_{2P*} = b_2 - tS_{b_2}. \quad (17)$$

В этой формуле t — распределение доверительных отклонений в малой выборке (распределение Стьюдента), определяемое по статистическим таблицам для заданного уровня доверительной вероятности P^* (см. справочное приложение 8) и числа степеней свободы f_{Sb_2}. Для самого слабого режима b_{2P*} должно быть значимо больше нуля.

9. Нижние доверительные пределы для среднего и нижний толерантный предел коэффициента ускорения (п. 4.4 настоящего стандарта) определяют следующим образом:

а) определяют среднюю дисперсию коэффициентов b_2

$$\bar{S}^2_{b_2} = \frac{\Sigma S^2_{b_2}}{m_1}, \quad (18)$$

где S_{b_2} — по формуле (16);

m_1 — общее число испытательных режимов;

б) определяют среднюю дисперсию логарифмов коэффициентов b_2

$$S^2_{k_{уск}} = \frac{\bar{S}^2_{b_2}}{\bar{b}^2_2}, \quad (19)$$

$$\bar{b}^2_2 = \frac{\Sigma b^2_2}{m_1}, \quad (20)$$

число степеней свободы для $S^2_{k_{уск}}$;

$$f_{Sk_{уск}} = \frac{\Sigma(n_i - 1)}{m_1}; \quad (21)$$

в) определяют дисперсию $S^2_{\hat{U}k}$ средних значений $\bar{U}_i$ относительно соответствующих точек поверхности отклика

$$S^2_{\hat{U}k} = \frac{\sum n_i(\overline{U}_i - \hat{U}_i)^2}{m_1 - k - 1}, \qquad (22)$$

где $\overline{U}_i$ — логарифм средней скорости b_2 в каждом режиме испытаний, определенной по п. 7.4;

$\hat{U}_i$ — логарифм b_2, подсчитанный по формуле (1) приложения 3 для каждого режима испытаний;

m_1 — то же, что в формуле (18);

k — число серий испытаний.

Число степеней свободы для $S_{\hat{U}k}$:

$$f_{S_{\hat{U}k}} = m_1 - k - 1. \qquad (23)$$

г) Определяют общую дисперсию $S^2_{b\overline{U}}$ экспериментальных точек относительно вычисленной поверхности ($S_{b\overline{U}} = S$ по п. 2.3)*

$$S^2_{b\overline{U}} = \frac{f_{S_{k_{уск}}} \cdot S^2_{k_{уск}} + f_{S_{\hat{U}k}} \cdot S^2_{\hat{U}k}}{f_{S_{k_{уск}}} + f_{S_{\hat{U}k}}}; \qquad (24)$$

д) Определяют дисперсию $S^2_{\hat{U}}$ логарифма коэффициента ускорения испытаний по п. 2.4*.

е) Определяют нижний доверительный предел для среднего и нижний толерантный предел логарифмического значения коэффициентов ускорения по пп. 2.5* и 2.6*.

---

* Здесь даны ссылки на приложение 3.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Обязательное

ПЛАНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

1. Общие положения

В зависимости от предварительных знаний о механизме возникновения отказа (от диапазона неизменности коэффициентов математической модели долговечности), от возможностей проведения эксперимента (наличия времени или оборудования), от целей эксперимента с точки зрения необходимости изучения механизма отказа, а также от требуемой статистической точности результатов могут быть осуществлены различные варианты (планы) эксперимента и соответственно различные варианты обработки экспериментальных данных, изложенные ниже.

В этих вариантах эксперименты для определения средних сроков L (или скоростей b_2) по п. 1.1 проводят:

вариант 1 — при нескольких температурах и одной (сравнительно высокой) концентрации, а также при нескольких меньших концентрациях в сочетании с одной (сравнительно высокой) температурой (черт. 1), при этом одна из экспериментальных точек (полученная, как правило, в наиболее жестком режиме) является общей для всех основных воздействующих факторов.

Допускается получить общую экспериментальную точку в ином, отличном от наиболее жесткого, режиме, если при этом обеспечивается более высокая достоверность определения сроков L.

Если испытания проводят в многокомпонентных агрессивных средах (п. 1.3 настоящего стандарта) и известно, что несколько компонентов могут вызвать отказы, то при необходимости ускорения испытания повышением концентрации агрессивных компонентов проводят несколько серий испытаний, меняя концентрацию каждого из агрессивных компонентов при рабочей концентрации остальных, и принимая в качестве срока L минимальный из сроков, получившихся в результате экстраполяции в области рабочих значений воздействующих факторов;

вариант 2 — при нескольких температурах и одной сравнительно высокой концентрации и влажности, а также при нескольких меньших концентрациях и влажностях в сочетании с различными (обычно более высокими) температурами (черт. 2);

вариант 3 — при нескольких температурах, нескольких концентрациях и нескольких влажностях (имеется несколько температурных точек при каждой концентрации и влажности) (черт. 3).

Варианты 1—3 относятся к случаю, когда перегиба зависимостей логарифма срока L или логарифма скорости b_2 по п. 1.1 от логарифма концентрации не обнаружено;

вариант 4 — то же, что варианты 1 и 2 (черт. 4); *вариант 5* — то же, что вариант 3, но при наличии перегиба зависимости логарифмов срока L или скорости b_2 от логарифма концентрации. Эти же варианты можно применять, если отсутствие перегиба этой зависимости неизвестно или сомнительно*.

---

* Отсутствие перегиба указанной зависимости (гипотезу линейности) для вариантов 1—3 проверяют по приложению 5.

Во всех указанных случаях зависимости срока L (или скорости b_2) от концентрации, температуры и влажности агрессивной среды выражают формулой (1) настоящего приложения, полученной из формулы (2) настоящего стандарта*.

$$U=a_1+a_2x+a_3y+a_4z, \qquad (1)$$

где $a_1=A'$; $a_2=B'$; $a_3=-m$; $a_4=-n$;

$$x=\frac{1}{T}\ ; \quad y=\lg C;\ z=\lg\eta;$$

A'; B'; m; n — постоянные по формуле (2) настоящего стандарта.

$$U=\lg L\ (\text{или}\ U=\lg b_2).$$

При этом в вариантах 1—3 коэффициенты a_2; a_3; a_4 являются неизменными, так что при обработке результатов определяют их значения. Дисперсии для этих вариантов определяют для всей поверхности отклика.

В вариантах 4 и 5 коэффициент a_2 (или a_3 и a_4) различен в разных поддиапазонах испытательного диапазона, поэтому результаты удобнее обрабатывать графоаналитическим методом, определяя коэффициент a_2 и не определяя коэффициенты a_3 и a_4. Зная коэффициент a_2 и определив коэффициенты $a_{1\,k}$ для различных концентраций, при которых проводился эксперимент, можно построить семейство линий $U=f(x)$ и определить средние значения U при заданных условиях эксплуатации. Дисперсии в этих вариантах удобнее определять для каждой линии $U=f(x)$ в отдельности с использованием данных всех испытаний.

Примечание. На черт. 1—4 для простоты изложения приведены схемы серий испытаний для получения зависимостей

$$L=f(T)\ \text{и}\ L=f(C)\ \text{при}\ \eta=\text{const}.$$

Аналогично в испытания включают исполнительно серию испытаний для получения зависимости

$$L=f(\eta).$$

2. Общая схема обработки результатов испытаний для определения показателей надежности

2.1. Результаты испытаний начинают обрабатывать с вычисления срока L, полученного при испытаниях каждого образца. Этот срок вычисляют в часах как суммарное время воздействия испытательной среды во всех циклах испытаний при данном режиме испытаний, за вычетом половины длительности воздействия в последнем цикле, после которого наступил отказ образцов (половину длительности не вычитают, если методика определения параметров образца позволяет обнаружить момент наступления отказа в процессе воздействия испытательной среды).

Для предварительной оценки при испытаниях в наиболее легких режимах допускается принимать значение срока L по п. 1.1 для 50%-го образца (медианное значение).

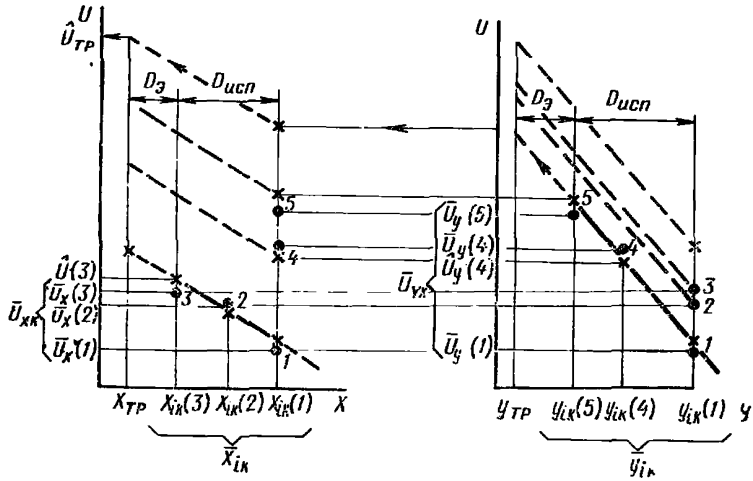
Затем вычисляют средний срок L как среднее арифметическое всех сроков L образцов, испытывавшихся в данном режиме.

После этого вычисляют логарифмы каждого срока L по п. 1.1 и среднелогарифмический срок L в каждом испытательном режиме (среднее арифметическое логарифмов сроков L).

---

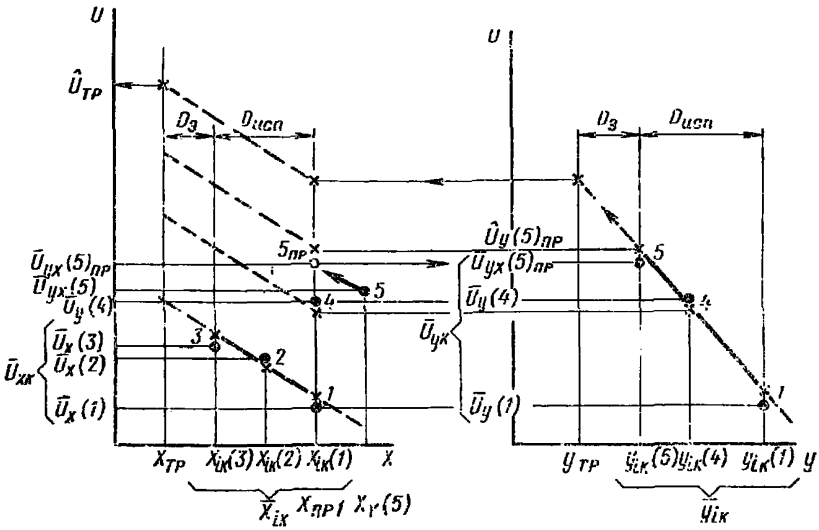
* Если в соответствии с п. 4.4. настоящего стандарта проводились две или одна серия испытаний, коэффициенты в формуле (1) при соответствующем воздействующем факторе принимают равными нулю, а другие требования, касающиеся указанного фактора, не учитывают.

Схема эксперимента по варианту 1



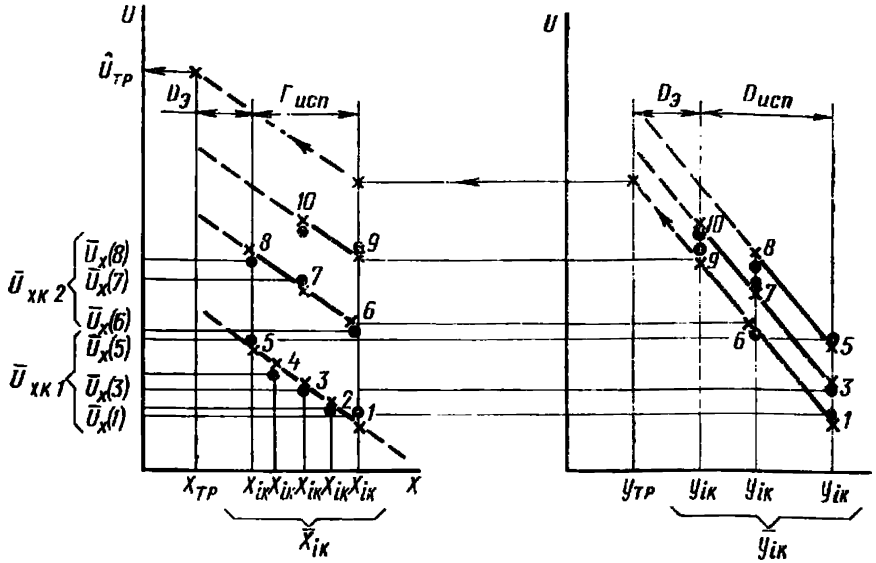
Черт. 1

Схема эксперимента по варианту 2



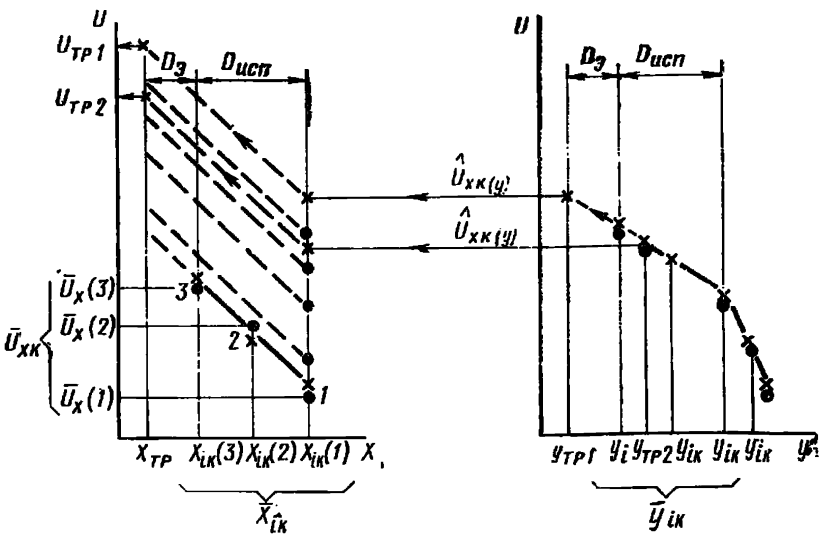
Черт. 2

Схема эксперимента по варианту 3



Черт. 3

Схема эксперимента по варианту 4



Черт. 4

Условные обозначения на черт. 1—4:

$D_{исп}$ — диапазон испытательных значений; $D_э$ — допустимый диапазон экстраполяции ($D_э = 0{,}5\ D_{исп}$); 1, 2, 3 . . — номера испытательного режима; «—» — интерполяция в диапазоне $D_{исп}$; «— — —» — экстраполяция в диапазоне $D_э$; «●» — фактические испытательные точки. × — точки, полученные расчетом или экстраполяцией; ○ — приведенная точка.

При необходимости результаты испытаний корректируют, исключая из рассмотрения образцы с резко выделяющимися значениями логарифмов. Резко выделяющиеся значения оценивают по приложению 4.

Затем для каждого режима испытаний вычисляют среднелогарифмический корректированный срок L (среднее арифметическое логарифмов сроков L всех оставшихся для рассмотрения образцов).

2.2. Следующим этапом обработки экспериментальных данных является вычисление коэффициентов формулы (1). Таким образом определяют параметры поверхности отклика (или линии регрессии).

Порядок вычислений коэффициентов принимают в зависимости от варианта эксперимента в соответствии с разд. 1 настоящего приложения.

После подстановки полученных данных в формулу (1) можно вычислить средние значения U при испытательных или других требуемых значениях воздействующих факторов (соответственно $\hat{U}_{\text{и}}$ и $\hat{U}_{\text{тр.}}$) и построить графики зависимостей $L_{\text{ср.}}$ от температуры, концентрации агрессивной среды и от влажности воздуха (на черт. 5 в качестве примера приведены графики зависимости от температуры и концентрации при постоянной влажности)*.

2.3. Определяют общую дисперсию экспериментальных точек относительно вычисленной поверхности (или линии регрессии)**

$$S^2=\frac{\Sigma^{m_1}\Sigma^{n_i}(U_i-\hat{U}_i)^2}{f_S}. \qquad (2)$$

Здесь U_i — логарифмы срока L каждого образца из числа оставленных для рассмотрения, подбираемые для каждого режима испытаний;

$\hat{U}_i$ — логарифмы срока L, полученные по формуле (1) или по построенному графику для каждого режима испытаний;

f_S — число степеней свободы.

U_i, $\hat{U}_i$, f_S а также обозначение S выбирают по указаниям, приведенным для каждого конкретного варианта эксперимента в разд. 3 настоящего приложения.

2.4. Определяют дисперсию средних значений поверхности отклика (дисперсию, характеризующую возможное смещение генерального среднего относительно поверхности отклика, вычисленной по выборочным данным). Эту дисперсию вычисляют при заданных (требуемых) значениях воздействующих факторов по формуле

$$S^2_{\hat{U}}=S^2 b \qquad (3)$$

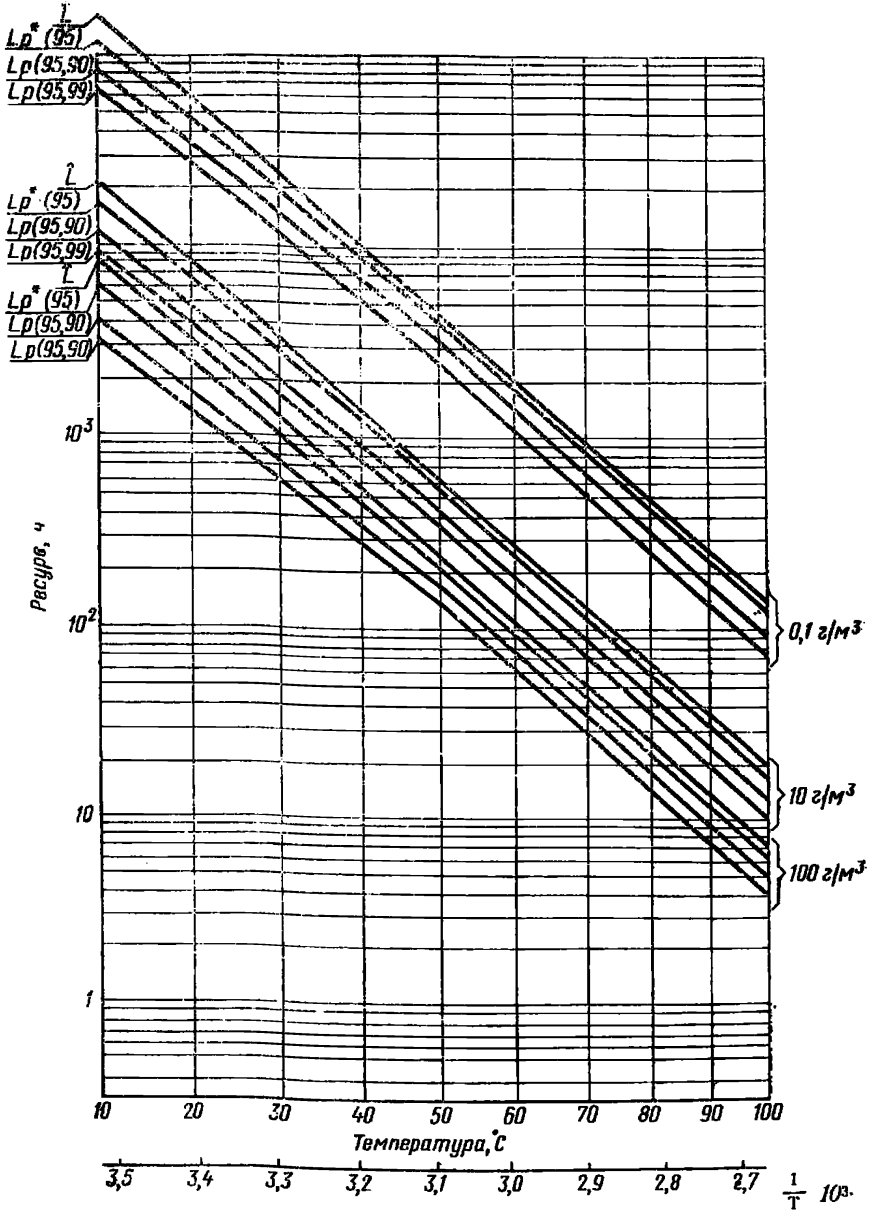
$$b=\frac{1}{N}+\frac{(x_{\text{тр}}-\bar{x}_i)^2}{\Sigma_{n_{xi}} n_i(x_{ik}-\bar{x}_i)^2}+\frac{(y_{\text{тр}}-\bar{y}_i)^2}{\Sigma_{n_{yi}} n_i(y_{ik}-\bar{y}_i)^2}+\frac{(z_{\text{тр}}-\bar{z}_i)^2}{\Sigma_{n_{zi}} n_i(z_{ik}-\bar{z}_i)^2}, \qquad (4)$$

---

* Если при построении графиков появляются сомнения в линейности зависимости $U(x)$, $U(y)$ или $U(z)$ во всем диапазоне испытательных факторов, проводят проверку гипотезы линейности по приложению 5.

** Если проводилась проверка гипотезы линейности или если при циклических испытаниях (в случае измерения параметров—критериев отказа в конце цикла) все отказы в каком-либо из режимов произошли только в одном или двух циклах, то дисперсию вычисляют по результатам вычисления дисперсий для каждого режима испытаний данной серии, в соответствии с приложением 5.

Зависимость ресурса от температуры для проводов ПЭТВ в воздушной среде, содержащей окислы азота разных концентраций при относительной влажности 100%, нижние доверительные пределы для среднего $L_p^*(95)$ и нижние толерантные пределы для различных вероятностей безотказного хранения L_p (95, 90) и L_p (95, 99)



Черт. 5

где N — общее число образцов, принимаемых для рассмотрения при всех режимах испытаний;*

$x_{тр}$; $y_{тр}$; $z_{тр}$ — параметры требуемых значений воздействующих факторов;

x_{ik}; y_{ik}; z_{ik} — параметры испытательных значений воздействующих факторов (параметры испытательных режимов), отобранные для каждой серии испытаний;

$\bar{x}_i$; $\bar{y}_i$; $\bar{z}_i$ — по формуле 15 настоящего приложения;

n_i — число образцов, оставленных для рассмотрения в каждом испытательном режиме;

n_{xi}; n_{yi}; n_{zi} — число испытательных режимов в данной серии при постоянной температуре, концентрации и влажности соответственно).

В этой формуле $1/N$ определяется смещением среднего относительно среднего выборочного. В членах

$$\frac{(x_{тр}-\bar{x}_i)^2}{\Sigma n_i(x_{ik}-\bar{x}_i)^2}; \qquad \frac{(y_{тр}-\bar{y}_i)^2}{\Sigma n_i(y_{ik}-\bar{y}_i)^2}$$

$$\text{и} \quad \frac{(z_{тр}-\bar{z}_i)^2}{\Sigma n_i(z_{ik}-\bar{z}_i)^2}$$

знаменатели определяются дисперсиями коэффициента регрессии U по x и y и z, а числители этих членов определяют увеличение дисперсии по мере удаления от центра испытаний.

В вариантах 4 и 5, где дисперсию вычисляют не по отношению к поверхности отклика, а по отношению к линии регрессии, последние два члена формулы (4), могут отсутствовать или заменяться членом, определяющим дисперсию среднего значения данных, полученных при других концентрациях или влажностях. Конкретные выражения для b и значения N выбирают по указаниям, приведенным для каждого варианта в разд. 3 настоящего приложения.

Примечание. Если определяют коэффициент ускорения (формула (3) настоящего стандарта), при подсчете коэффициента b вместо формулы (4) применяют формулу (4а)

$$b=\frac{(x_э-x_н)^2}{\sum\limits_{n_{xi}} n_i(x_{ik}-\bar{x}_i)^2}+\frac{(y_э-y_н)^2}{\sum\limits_{n_{yi}} n_i(y_{ik}-\bar{y}_i)^2}+\frac{(z_э-z_н)^2}{\sum\limits_{n_{zi}} n_i)z_{ik}-\bar{z}_i)^2} \cdot \qquad (4а)$$

2.5. Определяют нижний доверительный предел для средних логарифмических значений срока L или коэффициента ускорения при заданной доверительной вероятности P^* (или уровню значимости $\alpha=1-P^*$)

$$U_{P^*}=\hat{U}_{тр}-tS_{\hat{U}}, \qquad (5)$$

где U_{p^*} — нижний доверительный логарифмический предел среднего срока L или коэффициента ускорения по п. 5.4 при заданной доверительной вероятности;

t — распределение доверительных отклонений в малой выборке (распределение Стьюдента), определяемое по статистическим таблицам для заданного уровня доверительной вероятности P^* (приложение 8) и числа степеней свободы f_{St}. Для всех вариантов эксперимента, кроме варианта 4, $f_{St}=f_S$;

---

* При наличии перегиба зависимости U от x, y или z под «всеми режимами испытаний» понимают режимы по п. 5.3.

$\hat{U}_{тр}$ — значение логарифма среднего срока L или коэффициента ускорения по п. 5.4 настоящего стандарта при требуемых значениях воздействующих факторов, определенное по формуле (1) или по построенным графикам зависимостей

$$\hat{L}_{ср}=f(t^{\circ}C);\quad \hat{L}_{ср}=f(C);\quad \hat{L}_{ср}=f(\eta).$$

2.6. Определяют нижний доверительный предел (при заданной доверительной вероятности P^*) для логарифма срока L или коэффициента ускорения по п. 5.4 настоящего стандарта при заданной вероятности безотказной работы P^* (нижний толерантный предел).

$$U_P=U_{P^*}-Sz_P\left(1+\frac{U_\alpha}{\sqrt{2(N-1)}}\right), \qquad (6)$$

где U_P — нижний логарифмический доверительный предел срока L или $K_{уск}$ по п. 5.4 настоящего стандарта при заданной вероятности безотказной работы (нижний толерантный предел):

U_α — квантиль нормированного нормального распределения, определенная для доверительной вероятности P^* (приложение 8);

z_P — квантиль удвоенной нормированной функции Лапласа, определенная для требуемой вероятности безотказной работы P (приложение 8).

В этой формуле второй член в скобках определяет дисперсию дисперсии для случая, когда общее число образцов $N\geqslant 30$. Если в порядке исключения при испытаниях окажется необходимым принять N меньше указанного числа, второй член в скобках формулы (6) заменяют на $\frac{\sqrt{N-1}}{\sqrt{\chi^2}}$, где χ^2 — полученное из статистических таблиц значение функции χ^2, взятое для вероятности $\frac{1-P^*}{2}$ и числа степеней свободы $f_{S_1}=N-1$. С учетом формул (3) и (5) формула (6) может быть заменена на следующую

$$U_P=\hat{U}_{тр}-S\left[t\sqrt{b}+z_P\left(1+\frac{U_\alpha}{\sqrt{2(N-1)}}\right)\right]. \qquad (7)$$

2.7. Пользуясь формулой (6) или (7) и задавшись доверительной вероятностью P^* (обычно 0,9 или 0,95), строят графики зависимостей $U_P=f(x)$ (или $L_P=f(t^{\circ}C)$ в соответствующем масштабе) для нескольких концентраций и влажностей агрессивной среды и нескольких наиболее употребительных требуемых значений вероятности безотказного хранения или работы (черт. 5).

Пользуясь этими графиками, можно решить обратную задачу — определить вероятность безотказного хранения или работы при заданных сроке сохраняемости и условиям эксплуатации (температуре, концентрации и влажности агрессивной среды).

Вероятность безотказного хранения или работы можно определить и расчетным путем, вычислив z_P по формуле, полученной из формулы (7), подставив вместо U_P логарифм заданного срока L ($U_{зад}$)

$$z_P=\frac{\hat{U}_{тр}-U_{зад}-St\sqrt{b}}{S\left(1+\frac{U_\alpha}{\sqrt{2(N-1)}}\right)}. \qquad (8)$$

По найденному z_P при помощи таблиц удвоенной нормированной функции Лапласа определяют значение вероятности безотказного хранения или работы.

3. Определение коэффициентов формул поверхности отклика и дисперсий для разных вариантов эксперимента

3.1. *Вариант 1* (черт. 1).

Даю: 1-я серия $L=f(t°C)$ при $C=\text{const}$; $\tau_i=\text{const}$; 2-я серия $L=f(C)$ при $t°C=\text{const}$; $\eta=\text{const}$; 3-я серия $L=f(\tau_i)$ при $t°C=\text{const}$. Коэффициент a_2 в формуле (1) определяют следующим образом:

сначала определяют средние значения $\overline{U}_{xk}$ и $\overline{x}_{ik}$ в первой серии испытаний (при различных температурах и неизменных концентрации и влажности)

$$\overline{U}_{xk}=\frac{\sum\limits_{n_{xi}}\overline{U}_x}{n_{xi}}; \qquad \overline{x}_{ik}=\frac{\sum\limits_{n_{xi}}x_{ik}}{n_{xi}}, \tag{9}$$

где n_{xi} — число испытательных режимов в данной серии (для рассматриваемой серии — число значений температур);

x_{ik} — значения x для каждой температуры испытаний в данной серии;

$\overline{U}_x$ — корректированный средний логарифмический срок L (или логарифм средней скорости b_2) при каждой температуре испытаний в данной серии.

Коэффициент a_2 находят по формуле

$$a_2=\frac{\sum\limits_{n_{xi}}(\overline{U}_x-\overline{U}_{xk})\ (x_{ik}-\overline{x}_{ik})}{\sum\limits_{n_{xi}}(x_{ik}-\overline{x}_{ik})^2}. \tag{10}$$

Аналогично находят коэффициенты a_3 и a_4.

Определяют $\overline{U}_{yk}$ и $\overline{y}_{ik}$ (или соответственно $\overline{U}_{zk}$ и $\overline{z}_{ik}$)

$$\overline{U}_{yk}=\frac{\sum\limits_{n_{yi}}\overline{U}_y}{n_{yi}}; \qquad \overline{y}_{ik}=\frac{\sum\limits_{n_{yi}}y_{ik}}{n_{yi}}; \tag{11}$$

$$\overline{U}_{zk}=\frac{\sum\limits_{n_{zi}}\overline{U}_z}{n_{zi}}; \qquad \overline{z}_{ik}=\frac{\sum\limits_{n_{zi}}z_{ik}}{n_{zi}}, \tag{12}$$

где n_{yi} и n_{zi} — число значений испытательных режимов соответственно второй и третьей серии (для рассматриваемых серий — число значений концентраций или влажности);

y_{ik}; z_{ik} — значения y или z для каждой испытательной концентрации (или соответственно влажности) в данных сериях;

$\overline{U}_y$; $\overline{U}_z$ — корректированный средний логарифмический срок L или логарифм средней скорости b_2 при каждой испытательной концентрации или влажности в данной серии.

Коэффициенты a_3 и a_4 находят по формулам:

$$a_3=\frac{\sum\limits_{n_{yi}}(\overline{U}_y-\overline{U}_{yk})(y_{ik}-\overline{y}_{ik})}{\sum\limits_{n_{yi}}(y_{ik}-\overline{y}_{ik})^2}; \tag{13}$$

$$a_4=\frac{\sum\limits_{n_{zi}}(\overline{U}_z-\overline{U}_{zk})(z_{ik}-\overline{z}_{ik})}{\sum\limits_{n_{zi}}(z_{ik}-\overline{z}_{ik})^2}. \tag{14}$$

Для определения коэффициента a_1 вначале находят средние $\overline{U}$, $\overline{x}_i$, $\overline{y}_i$, $\overline{z}_i$

$$\overline{U}=\frac{\Sigma\overline{U}_i}{m_1}\ ;\quad \overline{x}_i=\frac{\Sigma x_i}{m_1}\ ;\quad \overline{y}_i=\frac{\Sigma y_i}{m_1}\ ;\quad \overline{z}_i=\frac{\Sigma z_i}{m_1}\ , \qquad (15)$$

где m_1 — общее число испытательных режимов;

U_i — корректированный средний логарифмический срок L или логарифм средней скорости b_2 в каждом режиме испытаний;

x_i; y_i; z_i — значения x, y, z для каждого испытательного режима.

Коэффициент a_1 находят по формуле

$$a_1=\overline{U}-a_2\overline{x}_i-a_3\overline{y}_i-a_4\overline{z}_i. \qquad (16)$$

Далее вычисляют дисперсии. Вначале находят дисперсию экспериментальных точек относительно вычисленной поверхности по формуле 2, *

где

$$f_S=N-k-1; \qquad (17)$$

k—число серий испытаний.

Формула 2 принимает вид**

$$S^2=\frac{\Sigma\Sigma(U_i-\hat{U}_i)^2}{N-k-1}\cdot \qquad (18)$$

После этого определяют дисперсию средних значений поверхности отклика, при этом формулы (3) и (4) принимают вид

$$S^2_{\hat{U}}=S^2_{\hat{U}(x,y,z)}=S^2b, \qquad (19)$$

$$b^{***}=\frac{1}{N}+\frac{(x_{тр}-\overline{x}_i)^2}{\sum\limits_{n_{xi}} n_i(x_{ik}-\overline{x}_i)^2}+\frac{(y_{тр}-\overline{y}_i)^2}{\sum\limits_{n_{yi}} n_i(y_{ik}-\overline{y}_i)^2}+\frac{(z_{тр}-\overline{z}_i)^2}{\sum\limits_{n_{zi}} n_i(z_{ik}-\overline{z}_i)^2}\cdot \qquad (20)$$

3.2. *Вариант 2* (черт. 2)

Дано: 1-я серия $L=f(t°C)$ при $C=\text{const}$; $\eta=\text{const}$; 2-я серия $L=f(C)$ при различных $t°C$; $\eta=\text{const}$; 3-я серия $L=f(\eta)$ при различных $t°C$; $C=\text{const}$.

Коэффициент a_2 в формуле (1) подсчитывают так же, как в варианте II по формуле (10). Для подсчета коэффициентов a_3 и a_4 в начале (во второй или третьей серии данных) значения U, полученные при различных температурах, приводят к какой-либо одной температуре. При этом выбирают значение температуры, при которой имеется максимальное число данных. Приведение проводят по формулам

$$\overline{U}_{yx\text{пр}}=\overline{U}_{yx}+a_2(x_{\text{пр}}-x_y); \qquad (21)$$

$$\overline{U}_{zx\text{пр}}=\overline{U}_{zx}+a_2(x_{\text{пр}}-x_z), \qquad (22)$$

где $x_{\text{пр}}$ — значение x для температуры, к которой производится приведение;

x_y; x_z — значение x для температуры, данные при которой приводятся к $x_{\text{пр}}$;

---

* Если в соответствии с п. 4.4 настоящего стандарта проводилось 3 серии испытаний, $f_S=n-4$.

** Если проводилась проверка гипотезы линейности или если при циклических испытаниях (в случае измерения параметров—критериев отказа в конце цикла) все отказы в каком-либо из режимов произошли только в одном или двух циклах, то дисперсию вычисляют по результатам вычислений дисперсий для каждого режима испытаний данной серии, в соответствии с приложением 5.

*** См. примечание к п. 2.4 настоящего приложения.

$\overline{U}_{yx}, \overline{U}_{zx}$ — средние значения U, полученные при температурах x_y или x_z и при соответствующих концентрации и влажности;

$\overline{U}_{yx\text{пр}}; \overline{U}_{zx\text{пр}}$ — значения $\overline{U}_{yx}$; $\overline{U}_{zx}$, приведенные к температуре, соответствующей $x_{\text{пр}}$.

После получения всех необходимых приведенных значений находят a_3 и a_4 так же, как в варианте 1, подставляя в формулах (13) и (14) в соответствующих местах $\overline{U}_{yx\text{пр}}$ или $\overline{U}_{zx\text{пр}}$ вместо $\overline{U}_y$ или $\overline{U}_z$. Коэффициент a_1 находят аналогично варианту 1, соответственно (где требуется) подставляя в формуле (3) значение $\overline{U}_{yx\text{пр}}$ и $\overline{U}_{zx\text{пр}}$ вместо $\overline{U}_i$.

Дисперсии S^2 и $S^2_{\hat{U}} = S^2_{\hat{U}(x,y,z)}$ вычисляют так же, как и в варианте 1.

3.3. *Вариант 3* (черт. 3)

Дано $L=f(t°\text{C})$; $L=f(C)$ и $L=f(\eta)$ при нескольких температурах, концентрациях и влажностях. Вначале проверяют гипотезу параллельности. Для этого вычисляют параметры зависимостей $U=f(t°\text{C})$ при $C=\text{const}$ и $\eta=\text{const}$, для чего данные группируют в серии, причем в каждую серию входят данные, полученные при какой-то одной концентрации и влажности и различных температурах. В этом случае формула (1) примет вид

$$U_k = a_{1k} + a_{2k}x, \tag{23}$$

где k — номер серии испытаний при постоянной концентрации и влажности (в последующем — также число серий испытаний);

U_k; a_{1k} — значения U и a_1 для каждой зависимости;

a_{2k} — постоянный коэффициент для каждой зависимости.

Графики $U_k = f(x)$, построенные по формуле (23), дают семейство линий регрессии. Для проверки гипотезы параллельности требуется сравнить дисперсию, связанную с рассеянием угловых коэффициентов линий регрессии, со средней дисперсией экспериментальных точек относительно линий регрессии.

Для получения дисперсии угловых коэффициентов сначала подсчитывают угловые коэффициенты a_{2k} для каждой серии испытаний при каждой постоянной концентрации аналогично подсчету коэффициента a_2 в варианте 1 (формулы (9) и (10)). После этого находят среднеарифметическое всех полученных угловых коэффициентов

$$\overline{a}_2 = \frac{\sum\limits_k a_{2k}}{k}. \tag{24}$$

Затем определяют дисперсию, связанную с рассеянием угловых коэффициентов

$$S^2_{a2k} = \frac{1}{k-1}\sum_k (a_{2k} - \overline{a}_2)^2 \left(\sum_{n_{xi}} x^2_{ik} - n_{xl}\,\overline{x}^2_{ik}\right), \tag{25}$$

где x_{ik}; $\overline{x_{ik}}$; n_{xi} — то же, что в формуле (9). Число степеней свободы для этого выражения $f_l = k-1$.

Для подсчета средней дисперсии всех экспериментальных точек относительно линий регрессии сначала находят дисперсию точек для каждой линии по формуле (2). При этом принимают

$$S^2 = S^2_{\text{сер}},$$

$U_i = U_{ik}$ — то же, что U_i в формуле (2) для данной серии испытаний;

$\hat{U}_i = \hat{U}_{ik}$ — то же, что $\hat{U}_i$ в формуле (2) для данной серии испытаний;

$N = n_{\text{сер}}$ — общее число образцов для данной серии при всех температурах испытаний.

Формула 2 принимает вид*:

$$S^2_{\text{сер}} = \frac{\sum\limits^{n_{\text{сер}}} (U_{ik} - \hat{U}_{ik})^2}{n_{\text{сер}} - 2} . \qquad (26)$$

С несколько большей, но допустимой долей погрешности, можно подсчитать $S^2_{\text{сер}}$ по упрощенной формуле

$$S^2_{\text{сер}} = \frac{\sum\limits^{n_{xi}} n_i (\bar{U}_{x(k)} - \hat{U}_{ik})^2}{n_{\text{сер}} - 2} , \qquad (27)$$

где $\bar{U}_{x(k)}$ — то же, что $\bar{U}_x$ в формуле (9) для данной серии испытаний;

n_{xi} и n_i —то же, что в формуле (4) для данной серии испытаний.

Формулу (27) применяют для предварительной оценки, если имеются существенные опасения в том, что вследствие непараллельности графиков дальнейшая обработка результатов всей совокупности испытаний по данному варианту нецелесообразна.

После определения дисперсий каждой серии находят среднюю дисперсию всех серий

$$\bar{S}^2_{\text{сер}} = \frac{\sum\limits^{k} S^2_{\text{сер}}}{k} . \qquad (28)$$

Число степеней свободы здесь $f_2 = k(n_{\text{сер}} - 2)$.

После этого вычисляют дисперсионное отношение

$$F = \frac{S^2_{a2k}}{\bar{S}^2_{\text{сер}}} . \qquad (29)$$

Полученные значения F сравнивают с табличным $F_{\text{табл}}$, взятым для необходимого уровня значимости, причем значения степеней свободы f_2 и f_1 вычисляют для знаменателя и числителя как указано выше.

Графики будут считаться параллельными, если $F \leqslant F_{\text{табл.}}$

После проверки гипотезы параллельности подсчитывают коэффициенты формулы (1). В качестве коэффициента a_2 принимают значение $\bar{a}_2$, вычисленное по формуле (24).

Коэффициент a_3 подсчитывают аналогично. Для этого сначала группируют данные так, чтобы выделить серии результатов испытаний $U = f(C)$ при $t = \text{const}$ и $\eta = \text{const}$. Затем определяют a_{3k_1} для каждой серии (аналогично определению a_3 формулы (11) и (13), а затем — среднее этих коэффициентов.

$$\bar{a}_3 = \frac{\sum\limits^{k_1} a_{3k_1}}{k_1} , \qquad (30)$$

где k_1 — число серий результатов испытаний при постоянных температуре и влажности и переменной концентрации (число испытательных температур, для которых имеются сгруппированные данные об испытаниях при различных концентрациях).

---

* Если проверялась гипотеза линейности или если при циклических испытаниях (в случае измерения критериев отказа в конце цикла) все отказы в какомлибо из режимов произошли только в одном-двух циклах, то дисперсию определяют по результатам вычисления дисперсий для каждого режима испытаний данной серии, в соответствии с приложением 5.

Аналогично определяют коэффициент a_4. Для определения коэффициента a_1 сначала находят средние значения $\overline{U}$, $\overline{x_i}$; $\overline{y_i}$; $\overline{z_l}$. Эти значения определяют по формулам, аналогичным формуле (15). После этого определяют a_1 по формуле, аналогичной формуле (16). После подстановки полученных коэффициентов в формулу (1) можно, как и в варианте 1, вычислить средние значения $\hat{U}$ при испытательных и других требуемых значениях воздействующих факторов и построить графики зависимостей $L_{ср}$ от температуры, концентрации и влажности агрессивной среды. Затем проводятся вычисления дисперсий. Вычисления S; $S_{\Lambda}=S_{\Lambda}$ проводят так же, как и для варианта 1 (формулы (18), (19), (20)),
$u \quad u(x, y, z)$
при этом в формулу (20) вместо n_i необходимо подставить n_{ik},

где n_{ik} — общее число образцов, оставленных для рассмотрения в данной серии сгруппированных результатов (при одинаковой температуре и влажности и разных концентрациях или при одинаковой концентрации и влажности и разных температурах или при одинаковой температуре и концентрации и разных влажностях).

3.4. *Вариант 4* (черт. 4)

Дано: 1-я серия $L=f(t°C)$ при $C=\text{const}$ и $\eta=\text{const}$, 2-я серия $L=f(C)$ при одной или нескольких температурах и влажности, 3-я серия $L=f(\eta)$ при одной или нескольких температурах и концентрациях. Известно, что $\lg L=f(\lg C)$ или $\lg L=f(\lg \eta)$* имеет перегиб (коэффициент a_3 или a_4 в формуле (1) имеет два или больше значений).

Вначале вычисляют параметры зависимостей в первой серии испытаний. При этом можно применять формулу, аналогичную (23) — вариант 3

$$U_{xk}=a_{xk}+a_{2k}x. \tag{31}$$

Коэффициент a подсчитывают аналогично коэффициенту a_2 в варианте 1. Например, для 1-й серии испытаний:

$$\overline{U}_{x1}=\frac{\Sigma\,\overline{U}_x}{n_{xl}}\;; \qquad \overline{x}_{i1}=\frac{\Sigma\,x_{i1}}{n_{xi}}\;. \tag{32}$$

Значения $\overline{U}_{xk}$; $\overline{x}_{ik}$; $\overline{x}_{ik}$; a_{2k} — аналогичные формуле (9), обозначены соответственно $\overline{U}_{x1}$; x_{i1}; $\overline{x}_{i1}$; a_{21}

$$a_{21}=\frac{\Sigma(\overline{U}_x-\overline{U}_{x1})(x_{i1}-\overline{x}_{i1})}{\Sigma(x_{i1}-\overline{x}_{i1})^2}\;. \tag{33}$$

Коэффициент a_{xk} для первой серии испытаний (обозначенный a_{x1}) подсчитывают по формуле

$$a_{x1}=\overline{U}_{x1}-a_{21}\overline{x}_{i1}. \tag{34}$$

Коэффициент a_{xk} для значений концентраций и влажностей, отличных от значений в первой серии, вычисляют подстановкой в формулу 31 значений $\overline{U}_{xk}$ и x_{ik}, полученных из соответствующих экспериментов для различных концентраций и влажностей

$$a_{xk}=\overline{U}_{xk}-a_{2k}\overline{x}_{ik}. \tag{35}$$

Определяя a_{xk} для необходимых концентраций и влажностей, при которых проводился эксперимент, можно вычислять средние значения $\hat{U}_{xk}$ и $\hat{L}_{xk}$ при требуемых температурах, концентрациях и влажностях (из числа концентраций и влажностей, при которых проводился эксперимент)

* Здесь вместо L в соответствии с п. 4.4 стандарта может быть подставлена скорость b_2.

$$\hat{U}_{xk}=a_{xk}+a_{2k}x. \tag{36}$$

Определение U и L при концентрациях и влажностях, при которых эксперимент не проводился, рекомендуется проводить графически-расчетным методом. Для этого по данным предыдущих вычислений строят графики зависимости $\hat{U}=f(y)$ при какой-либо температуре и влажности, графически определяют значение $\hat{U}_{xk(y)}$ при заданном y, после чего по формуле (35) можно найти соответствующее значение коэффициента a_{xk} для данной концентрации, подставляя вместо $\overline{U}_{xk}$ найденное значение $\hat{U}_{xk(y)}$. Можно воспользоваться и чисто графическим методом, отложив найденное значение $\overline{U}_{xk(y)}$ на графике $U=f(x)$ и проведя через эту точку линию, параллельную ранее найденной зависимости $U=f(x)$.

Дисперсии подсчитывают отдельно для зависимости, полученной при концентрации и влажности первой серии экспериментов и концентрациях и влажностях других серий. Для первой серии экспериментов дисперсию экспериментальных точек относительно линии регрессии $S^2=S^2_{\text{сер}}$ находят аналогично дисперсии серии $S^2_{\text{сер}}$ в варианте 3 (формула (26)). Затем вычисляют дисперсию средних значений линии регрессии в соответствии с формулами (3) и (4). При этом принимают

$N=n_{\text{сер1}}$ — общее число образцов, оставленных для рассмотрения в первой серии испытаний,

$b=b_{\text{сер1}}$ — коэффициент b, подсчитанный для первой серии.

Формулы (3) и (4) принимают вид:

$$S^2_{\hat{U}}=S^2_{\hat{U}.x1}=S^2_{\text{сер}}\cdot b_{\text{сер1}}; \tag{37}$$

$$b_{\text{сер1}}=\frac{1}{n_{\text{сер1}}}+\frac{(x_{\text{тр}}-\overline{x_i})^2}{\sum\limits_{n_{x_i}} n_i(x_{ik}-\overline{x_i})^2}. \tag{38}$$

Дисперсию средних значений при концентрациях и влажностях, отличных от первой серии, вычисляют в соответствии с формулами (3) и (4), но с учетом дополнительной дисперсии среднего значения $\overline{U}_{xk}$. При этом принимают $S^2=S^2_{\text{сер}}$, подсчитанное для первой серии;

$$N=n_{\text{сер1}}$$

$$f_{St}=n_{\text{сер1}}+n_{\text{сер.}k}-1.$$

Формулы (3) и (4) принимают вид

$$S^2_{\hat{U}}=S^2_{\hat{U}.xk}=S^2_{\text{сер}}\cdot b_{\text{сер}k}. \tag{39}$$

$$b_{\text{сер.}k}=b_{\text{сер.1}}+\frac{1}{n_{\text{сер}k}}=\frac{1}{n_{\text{сер1}}}+\frac{1}{n_{\text{сер}k}}+\frac{(x_{\text{тр}}-\overline{x_i})^2}{\sum\limits_{n_{x_i}} n_i(x_{ik}-\overline{x_i})^2}, \tag{40}$$

где $n_{\text{сер. }k}$ — общее число образцов, оставленных для рассмотрения в данной серии, отличной от первой;

$b_{\text{сер},k}$ — коэффициент b для данной серии, отличной от первой.

3.5. *Вариант 5.* Дано: $L=f(t°C)$; $L=f(C)$; $L=f(\eta)$ при нескольких температурах, концентрациях и влажностях. Известно, что $\lg L=f(\lg C)$ или $\lg L=f(\lg \eta)$ имеет перегиб* (коэффициенты a_3 или a_4 в формуле (1) имеют два или больше значений).

Сначала вычисления проводят аналогично варианту 3: вычисляют параметры зависимостей по формуле (23) для каждой серии испытаний при каждой из испытательных концентраций; проверяют гипотезу параллельности; подсчитывают коэффициенты формулы (23).

В качестве коэффициента a_{2k} для всех серий испытаний принимают $\overline{a_2}$ по формуле (24). Подсчет коэффициента a_{1k} в каждой серии испытаний производят (аналогично подсчету коэффициента a_{xk} в варианте 4) по формуле

$$a_{1k}=\overline{U}_{xk}-a_{2k}\overline{x}_{ik}. \qquad (41)$$

Здесь $\overline{U}_{xk}$ и $\overline{x}_{ik}$ были получены при вычислении коэффициентов a_{2k}. Для подсчета дисперсий учитывают результаты всех серий испытаний. В качестве дисперсии экспериментальных точек относительно линии регрессии принимают среднюю дисперсию всех серий $S^2=\overline{S}^2_{\text{сер}}$ по формуле (28).

Затем подсчитывают в соответствии с формулами (3) и (4) дисперсию средних значений линий регрессии, $S^2_{\underset{U\,xk}{\wedge}}$, которую можно принять одинаковой для всех серий.

Формулы (3) и (4) принимают вид:

$$S^2_{\underset{U}{\wedge}}=S^2_{\underset{Uxk}{\wedge}}=\overline{S}^2_{\text{сер}}\cdot b; \qquad (42)$$

$$b=\frac{1}{N}+\frac{(x_{\text{тр}}-\overline{x_i})^2}{\sum\limits_{n_{xi}} n_k(x_{ik}-\overline{x_i})^2}, \qquad (43)$$

где n_k — общее число образцов, рассматриваемых при данной температуре и всех концентрациях и влажностях.

---

* Здесь вместо L (в соответствии с п. 4.4 настоящего стандарта) может быть применена скорость b_2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Обязательное

МЕТОД ИСКЛЮЧЕНИЯ РЕЗКО ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ЗНАЧЕНИЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

В качестве метода исключения применяют критерий Ирвина.

1. Определяют некорректированный среднелогарифмический срок L при каждом испытательном режиме

$$\overline{U}_{ic}=\frac{1}{n_{ic}}\sum_{n_{ic}} U_i, \qquad (1)$$

где $U_i=\lg L$; L — значения L по п. 1.1 для каждого образца в данном режиме;
n_{ic} — число образцов, испытывающихся в данном испытательном режиме.

2. Вычисляют некорректированную дисперсию логарифмов сроков L при каждом испытательном режиме

$$S^2_{ic}=\frac{1}{n_{ic}-1}\sum_{n_{ic}} (U_i-\overline{U}_{ic})^2. \qquad (2)$$

3. Полученные значения U располагают в ряд U_1; U_2; U_3 ... U_n по степени возрастания значения U (вариационный ряд).

4. Проверяют сомнительные значения на одном или двух краях ряда, составленного по п. 3 настоящего приложения. Проверку начинают от края ряда и проверяют поочередно каждое следующее (по направлению к середине ряда) сомнительное значение.

5. Для проверки вычисляют функцию λ_{kc}

$$\lambda_{kc}=\frac{U_{kc}-U_{(k-1)c}}{S_{ic}}, \qquad (3)$$

где U_{kc} — вызывающее сомнение значение логарифма срока L;
$U_{(k-1)c}$ — следующее от края ряда значение логарифма срока L;
k — номер по порядку от края ряда.

6. Сравнивают полученные значения λ_{kc} с приведенными в таблице значениями $\lambda_{табл}$. Если хотя бы для одного вызывающего сомнение значения логарифма срока L (U_{kc}) λ_{kc} больше $\lambda_{табл}$, в расчет не принимают все вызывающие сомнения значения сроков U_{kc} от края ряда до U_{kc} включительно.

7. Проверку продолжают до тех пор, пока не будут получены значения $\lambda_{kc}\leqslant\lambda_{табл}$.

n_{ic}	Значения $\lambda_{табл}$ для исключения резко выделяющихся значений при доверительной вероятности	
	95%	99%
5	1,9	2,4
10	1,5	2,0
20	1,3	1,8
30	1,2	1,7
50	1,1	1,6
100	1,0	1,5
400	0,9	1,3
1000	0,8	1,2

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ ЛИНЕЙНОСТИ

Для проверки гипотезы линейности сравнивают дисперсии средних значений $\overline{U_i}$ относительно линий регрессий со средней дисперсией экспериментальных точек относительно средних значений $\overline{U}_i$. Проверку проводят отдельно для каждой серии испытаний.

Среднюю дисперсию S^2_{ik} экспериментальных точек отнотносительно средних них значений $\overline{U}_i$ вычисляют по формуле

$$\overline{S}^2_{ik}=\frac{\sum\limits_{n_{xi}} S^2_i}{n_{xi}}; \qquad (1)$$

$$S^2_i=\frac{\sum\limits_{n_i}(U_i-\overline{U}_i)^2}{n_i-1}, \qquad (2)$$

где U_i и $\overline{U_i}$ — то же, что в формулах (2) и (15) приложения 3 соответственно;

n_i — то же, что в формуле (4) приложения 3;

n_{xi} — то же, что в формуле (9) приложения 3 (вместо n_{xi} при необходимости подставляют n_{yi}, n_{zi} — формула (12) приложения 3)

Если при циклических испытаниях (в случае измерения параметров — критериев отказа в конце цикла) все отказы в каком-либо из режимов произошли только в одном или двух циклах, то дисперсию для данного режима S^2_i вычисляют по формуле (3)

$$S^2_i=\left[\frac{\Delta U\left(1{,}5-\frac{n_{\text{ц}}}{n_i}\right)}{z_{\text{р}}}\right]^2, \qquad (3)$$

здесь ΔU — логарифм длительности цикла, после которого были обнаружены отказы;

n_i — то же, что в формуле (3) приложения 3;

$n_{\text{ц}}$ — большее число отказов, обнаруженное после одного из двух циклов (если после каждого из двух циклов обнаружено одинаковое число отказов, $n_{\text{ц}}=0{,}5\,n_i$, если все отказы обнаружены после одного цикла $n_{\text{ц}}=n_i$);

$z_{\text{р}}$ — выбирают по табл. 2 приложения 8 для $p=1-\frac{1}{n_i}$.

Число степеней свободы для $\overline{S}^2_{ik}$:

$$f_{4k}(2)=\sum_{n_{xi}}(n_i-1). \qquad (4)$$

Если после проверки по приложению 4 не проводилось исключения резко выделяющихся значений, вычисления S^2_i по формуле (2) не производят, так как в этом случае $S^2_i=S^2_{ic}$ по приложению 4. Дисперсию $S_{\hat{U}k}$ средних значений $\overline{U_i}$ относительно соответствующих значений линии регрессии вычисляют по формуле

$$S^2_{\hat{U}k}=\frac{\sum\limits_{n_{xi}} n_i(\overline{U}_i-\hat{U}_i)^2}{n_{xi}-2}. \qquad (5)$$

Число степеней свободы здесь

$$f_{3k}(1)=n_{x_i}-2, \tag{6}$$

где $\hat{U}_i$ — то же, что в формуле (2) приложения 3;
n_{xi}; n_i — то же, что в формуле (2) настоящего приложения.
После этого вычисляют дисперсионное отношение

$$F=\frac{S^2_{\hat{U}k}}{\overline{S^2_{ik}}}. \tag{7}$$

Полученные значения сравнивают с $F_{\text{табл}}$, взятым для необходимого уровня значимости, причем значения степеней свободы f_{3k} (1) и f_{ik} (2) вычисляют для числителя и знаменателя формулы (7), как указано выше.

Гипотеза линейности не принимается, если $F_{\text{табл}}<F$, и при этом экспериментальные значения $\overline{U}_i$ располагаются относительно линии регрессии таким образом, что образуют явно выраженный изгиб (например, черт. 1). В этом случае выполняют требования п. 5.3 настоящего стандарта, допускается проводить обработку результатов по вариантам 4 и 5 приложения 3.

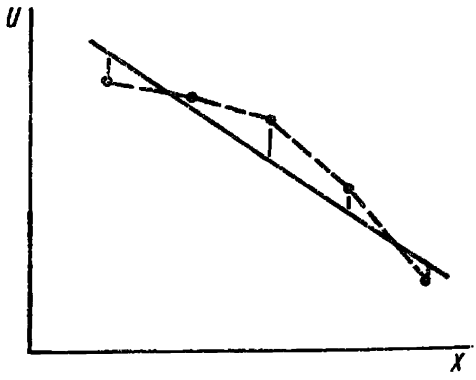
Гипотеза линейности принимается, если $F_{\text{табл}}\geqslant F$ или если $F_{\text{табл}}<F$, но при этом экспериментальные значения $\overline{U_i}$ располагаются относительно линии регрессии хаотически (см., например, черт. 2).

Для вычисления дисперсии экспериментальных точек относительно вычисленной поверхности вместо формулы (2) или (18) приложения 3 удобнее применять формулу

$$S^2=\frac{\sum\limits_k(f_{4k}\cdot\overline{S^2_{ik}}+f_{3k}\cdot S^2_{\hat{U}k})}{f_S}, \tag{8}$$

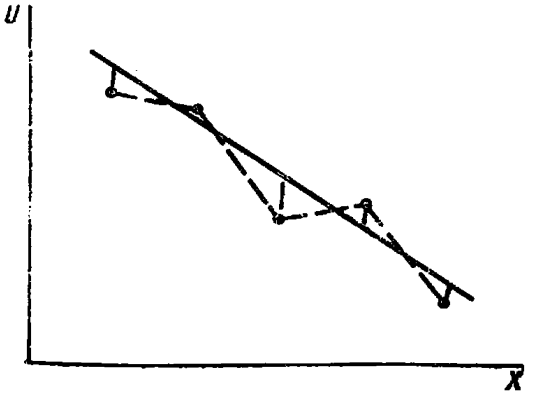
f_S — по формуле (17) приложения 3.

Пример неприемлемости гипотезы линейности при $F_{\text{табл}}<F$



Черт. 1

Пример приемлемости гипотезы линейности при $F_{табл} < F$



Черт. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА СРОКА

сохраняемости в эксплуатации обмоточных проводов, испытывающихся в скрутках [провод ПЭТВ, состаренный на 50%, скрутка пропитана лаком ПЭ-933 в два слоя]

1. Провод применяют для греющихся электротехнических изделий, поэтому под сроком L понимают срок сохраняемости в эксплуатации.

Режимы и результаты испытаний приведены в табл. 1. Режим 2 выбран для получения общей экспериментальной точки при испытаниях по варианту 1 (приложение 3, разд. 1).

2. В соответствии с приложением 4 проверяем сомнительные результаты испытаний образцов для исключения резко выделяющихся значений. Сомнительные результаты имеются в режимах 1, 2, 3 и 5.

Таблица 1

Номера режимов	Температура, °С	Концентрация агрессивного газа, г/м³	Относительная влажность, %	Продолжительность цикла, ч	Число циклов	Число образцов, вышедших из строя в каждом цикле, шт.		Среднее число циклов	Подсчитанный срок сохраняемости в эксплуатации по результатам испытания			
						всего	принимаемых в расчет		каждого образца		средний скорректированный	средний скорректированный, логарифмический
									ч	логарифмический		
1	50	10	100	96	1	1	—	6,6	43	1,6812	584,0	2,7626
					2	1	—		144	1,1584		
					3	—	—		—	—		
					4	—	—		—	—		
					5	4	4		432	2,6355		
					6	18	18		528	2,7226		
					7	20	20		624	2,7952		
					8	6	6		722	2,8585		
2	70	10	100	24	1	—	—	6,0	—	—	131,0	2,1109
					2	2	—		36	1,5563		
					3	—	—		—	—		
					4	4	4		84	1,9243		
					5	8	8		108	2,0334		
					6	22	22		132	2,1206		
					7	14	14		156	2,1931		
3	90	10	100	7	1	—	—	5,4	—	—	34,3	1,5287
					2	—	—		—	—		
					3	—	—		—	—		
					4	7	7		24,5	1,3892		
					5	18	18		31,5	1,4983		
					6	20	20		38,5	1,5855		
					7	3	3		45,5	1,6580		
					8	—	—		—	—		
					9	—	—		—	—		
					10	2	—		66,5	1,8228		
4	70	0,1	100	120	1	—	—	7,7	—	—	866,4	2,9335
					2	—	—		—	—		
					3	—	—		—	—		
					4	—	—		—	—		
					5	—	—		—	—		
					6	6	6		660	2,8195		
					7	14	14		780	2,8921		
					8	20	20		900	2,9542		
					9	8	8		1020	3,0086		
					10	2	2		1140	3,0569		
5	70	100	100	10	1	1	—	6,3	5	0,6990	57,7	1,7572
					2	—	—		—	—		
					3	1	—		25	1,3979		
					4	—	—		—	—		
					5	8	8		45	1,6532		

Продолжение табл. 1

Номера режимов	Температура, °С	Концентрация агрессивного газа, г/м³	Относительная влажность, %	Продолжительность цикла, ч	Число циклов	Число образцов, вышедших из строя в каждом цикле, шт.		Среднее число циклов	Подсчитанный срок сохраняемости в эксплуатации по результатам испытания			
						всего	принимаемых в расчет		каждого образца		средний скорректированный	средний скорректированный, логарифмический
									ч	логарифмический		
5	70	100	100	10	6	21	21	6,3	55	1,7404	57,7	1,7572
					7	17	17		65	1,8129		
					8	2	2		75	1,8751		
6	70	10	60	120	1	—	—	6,5	—	—	717,6	2,8513
					2	—	—		—	—		
					3	—	—		—	—		
					4	—	—		—	—		
					5	6	6		540	2,7324		
					6	20	20		660	2,8195		
					7	18	18		780	2,8921		
					8	6	6		900	2,9542		
7	70	10	80	60	1	—	—	5,8	—	—	315,6	2,4999
					2	—	—		—	—		
					3	—	—		—	—		
					4	4	4		210	2,3222		
					5	14	14		270	2,4314		
					6	22	22		330	2,5185		
					7	10	10		390	2,5911		

Проверка результатов по режиму 1

$$\overline{U}_c = \frac{1,6812+2,1584+4\cdot 2,6335+18\cdot 2,7226+20\cdot 2,7952+6\cdot 2,8585}{50} = 2,7607;$$

$$\sum_{n_{ic}} (U_{ic}-\overline{U}_{ic})^2 = (1,6812-2,7607)^2+(2,1584-2,7607)^2+4(2,6355-2,7607)^2+$$
$$+18(2,7226-1,7607)^2+20(2,7952-2,7607)^2+$$
$$+6(2,8585-2,7607)^2=2,7426.$$

$$S_{ic}=\sqrt{\frac{2,7426}{50-1}}=0,2341.$$

Результаты испытаний образцов расположены в ряд (табл. 1).

Сомнительными в данном ряду являются значения 1,6812 и 2,1584, проверяют также соседнее значение 2,6355

$$\lambda_1=\frac{2,1584-1,6812}{0,2341}=2,0384;$$

$$\lambda_2=\frac{2,6355-2,1584}{0,2341}=2,0;$$

$$\lambda_3=\frac{2,7226-2,6355}{0,2341}=0,0371$$

Два первых образца, вышедших из строя в первом и во втором циклах, из рассмотрения исключают и в расчет не принимают, так как 2,03 и $2,0>1,1$.

Проверка результатов по режиму 2

$$\overline{U}_{ic}=2{,}0885;$$

$$\sum_{n_{ic}}(U_{ic}-\overline{U}_{ic})^2=2{,}0637;$$

$$S_{ic}=0{,}204.$$

Результаты испытаний расположены в вариационный ряд (табл. 1).

Сомнительным в этом ряду является значение 1,5563, проверяют также соседнее значение 1,9243

$$\lambda_1=\frac{1{,}9243-1{,}5563}{0{,}204}=1{,}805;$$

$$\lambda_{\text{табл}}=1{,}1;$$

$$\lambda_2=\frac{2{,}0334-1{,}9243}{0{,}204}=0{,}533.$$

Образцы, вышедшие из строя во втором цикле, исключают из рассмотрения и в расчет не принимают, так как $1{,}805>1{,}1$.

Образцы, вышедшие из строя в четвертом цикле, из рассмотрения не исключают, так как $0{,}533<1{,}1$.

Проверка результатов по режиму 3

$$\overline{U}_{ic}=1{,}5407;$$

$$\lambda_{\text{табл}}=1{,}1;$$

$$\sum_{n_{ic}}(U_{ic}-\overline{U}_{ic})^2=0{,}72484;$$

$$S_{ic}=0{,}1212.$$

Результаты испытаний образцов расположены в вариационный ряд (табл. 1).

Сомнительным в данном ряду является значение 1,8228 проверяют также соседнее значение 1,6580

$$\lambda_2=\frac{1{,}6580-1{,}5855}{0{,}1212}=0{,}598;$$

$$\lambda_1=\frac{1{,}8228-1{,}6580}{0{,}1212}=1{,}36.$$

Образцы, вышедшие из строя в 10-м цикле, исключают из рассмотрения и в расчет не принимают, так как $1{,}36>1{,}1$. Аналогично исключают из рассмотрения образцы, вышедшие из строя в 1 и 3-м циклах режима 5.

3. Коэффициенты зависимости рассчитывают в соответствии с приложением 3. Результаты расчета приведены в табл. 2—5.

В результате расчета получаем следующую аналитическую зависимость.

$$U=-0{,}1144+3619{,}2\cdot\frac{1}{T}-0{,}3948\lg C-3{,}9588\lg\eta.$$

Определяем срок сохраняемости в эксплуатации при рабочих параметрах внешней среды:

температура 20°С;

относительная влажность воздуха 80% (среднемесячные значения в наиболее теплый и влажный период для изделий категории 3 исполнения УХЛ по ГОСТ 15150—69);

концентрация агрессивного газа 0,005 мг/л (допустимая норма). $\hat{L}=421500$ ч.

Расчеты нижних доверительных пределов срока сохраняемости в эксплуатации при требуемых рабочих параметрах внешней среды при доверительной вероятности 95% и вероятности безотказного хранения 90 и 99% проведены согласно приложению 3, результаты расчета приведены в табл. 6 и 7.

$$b=\frac{1}{342}+\frac{25,5000\cdot10^{-8}}{279,8343\cdot10^{-8}}+\frac{9,9728}{236,1277}+\frac{3,158\cdot10^{-3}}{1309\cdot10^{-3}}=1389,0\cdot10^{-4}$$

$$S_{\underset{U}{\wedge}}=0,081\sqrt{1389,0\cdot10^{-4}}=0,0318;$$

$$\overline{U}_{P^*(95)}=5,6154-1,96\cdot0,0318=5,5564;$$

$$\overline{L}_{P^*(95)}=360000 \text{ ч};$$

$$U_{P(95,90)}=5,5564-0,081\cdot1,645\left(1+\frac{1,645}{\sqrt{2(342-1)}}\right)=5,4145;$$

$$L_{P(95,90)}=259700 \text{ ч};$$

$$U_{P(95,99)}=5,5564-0,081\cdot2,576\left(1+\frac{1,645}{\sqrt{2(342-1)}}\right)=5,3351;$$

$$L_{P(95,99)}=216300 \text{ ч}.$$

Таблица 2

Расчет коэффициента a_2 для серии испытаний 1 при изменяемом параметре (температуре) и неизменных параметрах (концентрации агрессивного газа и относительной влажности воздуха)

Номера режимов испытаний	Температура испытаний, °С	x_{ik} $(1/T)\cdot10^3$	$\overline{U}_x$	$(x_{ik}-\overline{x}_{ik})\,10^4$	$(\overline{U}_x-\overline{U}_{xk})$	$(x_{ik}-\overline{x}_{ik})\times(\overline{U}_x-\overline{U}_{xk})10^4$	$(x_{ik}-\overline{x}_{ik})^2\cdot10^8$	$a_2\cdot10^{-3}$
1	50	3,096	2,7626	1,74	0,6285	1,0936	3,0256	
2	70	2,915	2,1109	—0,07	—0,0230	0,00161	0,0049	3,6192
3	90	2,755	1,5287	—1,67	—0,6054	1,0110	2,7889	
		$\overline{x}_{ik}=2,922$	$\overline{U}_{xk}=2,1341$			$\Sigma=2,1062$	$\Sigma=5,8114$	

Таблица 3

Расчет коэффициента a_3 для серии испытаний 2: при изменяемом параметре (концентрации агрессивного газа) и неизменных параметрах (температуре и относительной влажности воздуха)

Номера режимов испытаний	Концентрация агрессивного газа, г/м³	$y_{ik}=\lg C$	$\overline{U}_y$	$y_{ik}-\overline{y}_{ik}$	$(\overline{U}_y-\overline{U}_{yk})$	$(y_{ik}-\overline{y}_{ik})\times(\overline{U}_y-\overline{U}_{yk})$	$(y_{ik}-\overline{y}_{ik})^2$	a_3
2	10	1	2,1109	+0,3333	—0,1548	—0,0520	0,1111	
4	0,1	—1	2,9336	—1,6667	0,6656	—1,1105	2,7770	—0,3948
5	100	2	1,7572	+1,3333	—0,519	—0,6800	1,7777	
		$\overline{y}_{ik}=0,6667$	$\overline{U}_{yk}=2,3673$			$\Sigma=-1,8425$	$\Sigma=4,6658$	

Таблица 4

Расчет коэффициента a_4 для серии испытаний 3 при изменяемом параметре (относительной влажности воздуха) и неизменных параметрах температуре и концентрации агрессивного газа)

Номера режимов испытаний	Относительная влажность воздуха, %	$z_{ik}=\lg\eta$	$\overline{U}_z$	$(z_{ik}-\overline{z}_{ik})\times 10^2$	$(\overline{U}_z-\overline{U}_{zk})\cdot 10^2$	$(z_{ik}-\overline{z}_{ik})\times(\overline{U}_z-\overline{U}_{zk})\cdot 10^4$	$(z_{ik}-\overline{z}_{ik})^2\cdot 10^4$	a_4
2	100	2,0000	2,1109	+9,47	—37,41	354,2727	89,6809	
6	65	1,8129	2,8513	—9,24	+36,663	338,766	85,3776	—3,9588
7	80	1,9031	2,4929	—0,22	+0,79	0,1738	0,0484	

$\overline{z}_{ik}=1,9053$ $\overline{U}_{zk}=2,4850$ $\Sigma=693,2125$ $\Sigma=175,1069$

Таблица 5

Расчет коэффициента a_1

Номера режимов испытаний	$\overline{U}_i$	$x_i\cdot 10^3$	y_i	z_i	a_1
1	2,7626	3,096	1	2	
2	2,1111	2,915	1	2	
3	1,5287	2,755	1	2	
4	2,9336	2,915	—1	2	—0,1144
5	1,7572	2,915	2	2	
6	2,8513	2,915	1	1,8129	
7	2,4999	2,915	1	1,9031	

$\overline{U}=2,3482$ $\overline{x}_i=2,918$ $\overline{y}_i=0,8571$ $\overline{z}_i=1,9593$

Примеры расчета некоторых величин

$$\overline{U}_x=\frac{4\cdot 2,6355+18\cdot 2,7226+20\cdot 2,7952+6\cdot 2,8585}{48}=2,7624;$$

(для 1 режима)

$$\overline{x}_{ik}=\frac{3,096\cdot 10^{-3}+2,915\cdot 10^{-3}+2,755\cdot 10^{-3}}{3}=2,922\cdot 10^{-3};$$

$$\overline{U}_{xk}=\frac{2,7626+2,1111+1,5287}{3}=2,1341;$$

$$\Sigma(x_{ik}-\overline{x}_{ik})(\overline{U}_x-\overline{U}_{xk})=(1,0936+0,00161+1,0110)\cdot 10^{-4}=2,1062\cdot 10^{-4};$$

$$\Sigma(x_{ik}-\overline{x}_{ik})^2=(3,0256+0,0049+2,7889)\cdot 10^{-3}=5,8194\cdot 10^{-3};$$

Таблица 6

Расчет статистической достоверности результатов

Номера режимов испытаний	U_i	$\hat{U}_i$	n_i	$(U_i-\hat{U}_i)^2 \cdot 10^2$	$(x_{ik}-\bar{x}_i)^2 \cdot 10^3$	$(y_{ik}-\bar{y}_i)^2$	$(z_{ik}-\bar{z}_i)^2 \cdot 10^3$
1	2,6355	2,7624		1,9312	3,1684		
	2,7226			0,2693			
	2,7952			0,04242			
	2,8585			0,7056			
2	1,9243	2,1178	48	3,7442	0,0009	0,0204	
	2,0334			0,7123			
	2,1206			0,0008			
	2,1931			0,5402			
3	1,3892	1,5408		2,2982	2,6569		1,656
	1,4983			0,1806			
	1,5855			0,1998			
	1,6580			1,3735			
4	2,8196	2,9074	50	0,7764	0,0009	3,4488	
	2,8921			0,0234			
	2,9542			0,2190			
	3,0086			1,0241			
	3,0569			2,2352			
5	1,6932	1,723	48	0,4872		1,3062	
	1,7404			0,0302			
	1,8129			0,8082			
	1,8751			2,3134			
6	2,7324	2,8585		1,5901		0,0204	21,44
	2,8195			0,1521			
	2,8921			0,1128			
	2,9542			0,9158			
7	2,3222	2,5014	50	3,2112			3,16
	2,4314			0,49			
	2,5185			0,0224			
	2,5911			0,8046			
					Σ=279,8	Σ=2,3583	Σ=1630
					S=0,081		

Таблица 7

$(x_{тр}-\bar{x}_i)^2\cdot10^8$	$(y_{тр}-\bar{y}_i)^2$	$(z_{тр}-\bar{z}_i)^2\cdot10^2$	$tS_{\hat{U}}$	$\hat{U}_{тр}$	$U_{P^*(95)}$	$\hat{L}_{тр}$, ч	$L_{P^*(95)}$, ч
25,5000	9,9728	3,158	0,0590	5,6154	5,5564	412100	360000

$$a_2=\frac{2,1062\cdot10^{-4}}{5,8194\cdot10^{-8}}=3,6192\cdot10^3;$$

$$\bar{U}=\frac{2,7626+2,1111+1,5287+2,9336+1.7572+2,8513+2,4999}{7}=2,3482;$$

$$a_1=2,3482-3,6192\cdot10^3\cdot2,918\cdot10^{-3}+0,3948\cdot0,8571+3,9588\cdot1,9593=-0,1144$$

Путем подстановки в полученное уравнение значений воздействующих факторов находят для каждого испытательного режима:

$$\hat{U}_1=-0,1144+11,2013-0,3948-7,9176=2,7745;$$

$$\hat{U}_2=-0,1144+10,5446-0,3948-7,9176=2,1178;$$

$$\hat{U}_3=-0,1144+9,9676+0,3948-7,9176=1,5408;$$

$$\hat{U}_4=-0,1144+10,5446+0,3948-7,9176=2,9074;$$

$$\hat{U}_5=-0,1144+10,5446-0,7896-7,9176=1,7238;$$

$$\hat{U}_6=-0,1144+10,5446-0,3948-7,1768=2,8585;$$

$$\hat{U}_7=-0,1144+10,5446-0,3948-7,1534=2,5014.$$

$$\sum_{m_1}\sum_{n_i}(U_i-\hat{U}_i)^2=(1,9321\cdot4+26,936\cdot18+4,2849\cdot20+70,56\cdot6+374,4225\cdot14+$$
$$+71,2336\cdot18+0,784\cdot22+54,0225\cdot14+229,8256\cdot7+18,0625\cdot18+19,9809\cdot20+$$
$$137,3584\cdot3+77,261\cdot6+2,3409\cdot14+21,9024\cdot20+102,4144\cdot18+223,5025\cdot2+$$
$$+48,7204\cdot8+3,0276\cdot21+80,8201\cdot17+231,3441\cdot2+159,0121\cdot6+15,21\cdot20+$$
$$+1,2896\cdot18+91,5849\cdot6+321,1264\cdot4+49,00\cdot14+2,9241\cdot22+80,4609)\cdot10^{-4}=$$
$$=22175,3\cdot10^{-4}.$$

$$S=\sqrt{\frac{22175,3\cdot10^{-4}}{342-4}}=0,061.$$

Знаменатель второго члена формулы 20

$$\sum_{n_{xi}}n_i(x_{ik}-\bar{x}_i)^2=48(3,096-2,918)^2\cdot10^{-6}+48(2,915-2,918)^2\cdot10^{-6}+$$
$$+48(2,755-2,918)^2\cdot10^{-6}=279,8343\cdot10^{-8}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Справочное

ФОРМА ПРОТОКОЛА ИСПЫТАНИЙ

«УТВЕРЖДАЮ»

_____
(инициалы и фамилия руководителя предприятия, проводящего испытания)

«_____» _____ 197_____ г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

_____
(Указывают объект испытания)

в атмосфере, содержащей _____
(Указывают агрессивную среду)

1. Описание испытываемых материалов или конструкций.
2. Описание условий испытаний (указывают основные воздействующие факторы и, если требуется, дополнительные факторы, имитирующие эксплуатационные, входящие в цикл испытаний, а также критерий выхода образцов из строя).
3. Результаты испытаний (оформляют таблицей)

Номера режимов	Температура, °С	Концентрация агрессивного газа, г/м³	Относительная влажность, %	Продолжительность цикла, ч	Число циклов	Число образцов, вышедших из строя в каждом цикле, шт.		Среднее число циклов	Подсчитаный срок L* по результатам испытания, ч		
						всего	принимаемых в расчет		каждого образца		Средний корректированный
									всего	принимаемых в расчет	

* Указывают конкретное понятие (срок сохраняемости в эксплуатации, срок службы, ресурс и т. п.) в соответствии с п. 1.1 настоящего стандарта.

4. Аналитическая зависимость между сроком L и основными воздействующими факторами (указывают формулу с числовыми коэффициентами).

5. Уравнение нижнего доверительного предела среднего срока с доверительной вероятностью . . . % (Указывают формулу).

6. Уравнение нижнего толерантного предела при вероятности безотказного хранения . . . % с доверительной вероятностью . . . % (приводят уравнение).

7. Нижние граничные значения допустимых пределов экстраполяции:

а) по значению концентрации агрессивного газа;

б) по значению относительной влажности воздуха;

в) по значению температуры.

8. Сроки, полученные расчетом при рабочих значениях воздействующих факторов, а при их отсутствии — при нижних граничных значениях допустимых пределов электраполяции, среднее значение, нижнее доверительное значение по среднему согласно п. 5; нижний толерантный предел по п. 6.

Руководитель испытания _____
(подпись)

Исполнители: _____
(подписи)

СОГЛАСОВАНО*

Представитель предприятия, представившего образцы для испытаний

_____
(подпись)

Представитель заказчика _____
(подпись)

* Согласование проводят в том случае, если по характеру и назначению испытаний требуется участие в испытаниях представителя предприятия, представившего образцы, или заказчика.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8
Справочное

ЗНАЧЕНИЯ *t* РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТЬЮДЕНТА И КВАНТИЛЕЙ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Таблица 1

Распределение доверительных отклонений *t* (распределение Стьюдента)

Число степеней свободы, f_{st}	при доверительных вероятностях P^*, %									
	20	40	60	80	90	95	98	99	99,8	99,9
1	0,325	0,727	1,376	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	318,3	636,6
2	0,289	0,617	1,061	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,33	31,60
3	0,277	0,584	0,978	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,22	12,94
4	0,271	0,569	0,941	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	0,267	0,559	0,920	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,892	6,859
6	0,265	0,553	0,906	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	0,263	0,549	0,896	1,416	1,895	2,365	2,998	3,490	4,785	5,405
8	0,262	0,546	0,889	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	0,261	0,543	0,883	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	0,260	0,542	0,879	1,372	1,812	2,228	2,764	3,760	4,144	4,587
11	0,260	0,540	0,876	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	0,259	0,539	0,873	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	0,259	0,538	0,870	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	0,258	0,537	0,868	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	0,258	0,536	0,866	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	0,258	0,535	0,865	1,337	1,746	2,120	2,585	2,921	3,686	4,015
17	0,257	0,534	0,863	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965
18	0,257	0,534	0,862	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,611	3,965
19	0,257	0,533	0,861	1,328	1,729	2,003	2,539	2,861	3,579	3,883
20	0,257	0,533	0,860	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850
21	0,257	0,532	0,859	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,818
22	0,256	0,532	0,858	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792
23	0,256	0,532	0,858	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767
24	0,256	0,531	0,857	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745
25	0,256	0,531	0,856	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725
26	0,256	0,531	0,856	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707
27	0,256	0,531	0,855	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690
28	0,256	0,530	0,855	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674
29	0,256	0,530	0,854	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659
30	0,256	0,530	0,854	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646
40	0,255	0,529	0,851	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551
50	0,255	0,528	0,849	1,298	1,676	2,002	2,403	2,678	3,262	3,495
60	0,254	0,527	0,848	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460
80	0,254	0,527	0,846	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,415
100	0,254	0,526	0,845	1,290	1,660	1,984	2,365	2,626	3,174	3,389
200	0,254	0,525	0,843	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	3,131	3,339
500	0,253	0,525	0,842	1,283	1,648	1,965	2,334	2,486	3,106	3,310
∞	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,291

Таблица 2

Доверительная вероятность P^* или вероятность безотказной работы P	Квантили нормального распределения		Доверительная вероятность P^* или вероятность безотказной работы P	Квантили нормального распределения	
	U_α	z_P		U_α	z_P
0,50	0	0,674	0,82	0,915	1,341
0,51	0,025	0,690	0,83	0,954	1,372
0,52	0,050	0,706	0,84	0,994	1,405
0,53	0,075	0,722	0,85	1,036	1,440
0,54	0,100	0,739	0,85	1,080	1,476
0,55	0,126	0,755	0,87	1,126	1,514
0,56	0,151	0,772	0,88	1,175	1,555
0,57	0,176	0,789	0,89	1,227	1,598
0,58	0,202	0,806	0,90	1,282	1,645
0,59	0,228	0,824	0,90	1,341	1,695
0,60	0,253	0,842	0,92	1,405	1,751
0,61	0,279	0,860	0,925	1,440	1,780
0,62	0,305	0,878	0,93	1,476	1,812
0,63	0,332	0,896	0,94	1,555	1,881
0,64	0,358	0,915	0,95	1,645	1,960
0,65	0,385	0,935	0,96	1,751	2,054
0,66	0,412	0,954	0,97	1,881	2,170
0,67	0,440	0,974	0,975	1,960	2,241
0,68	0,468	0,994	0,900	2,054	2,326
0,69	0,496	1,015	0,990	2,326	2,576
0,70	0,524	1,036	0,991	2,366	2,612
0,71	0,553	1,058	0,992	2,400	2,652
0,72	0,583	1,080	0,993	2,457	2,697
0,73	0,613	1,103	0,994	2,512	2,748
0,74	0,643	1,126	0,995	1,570	2,807
0,75	0,674	1,150	0,996	2,652	2,878
0,76	0,706	1,175	0,997	2,748	2,968
0,77	0,739	1,200	0,9975	2,807	3,024
0,78	0,772	1,227	0,9980	2,878	3,090
0,79	0,806	1,254	0,9990	3,090	3,291
0,80	0,842	1,282	0,9995	3,291	3,480
0,81	0,878	1,311	0,9999	3,719	3,885

Редактор *Н. Б. Жуковская*
Технический редактор *О. Н. Никитина*
Корректор *Н. А. Аргунова*

Сдано в набор 02. 10. 75 Подп. в печ. 27. 02. 76 3,25 п. л. Тир. 16000 Цена 17 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов. Москва, Д-557, Новопресненский пер., 3
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 2092

gost.e-ecolog.ru