УДК 621.315.62.001.4:006.354 Группа Е30

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

# СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ

## Методы оценки устойчивости к действию электрического поля

Electrical insulation systems.
Methods of electrical endurance evaluation

ГОСТ
27905.4—88
(МЭК 727—1—82)

ОКСТУ 3409

Срок действия с 01.01.90
до 01.01.2000

Настоящий стандарт содержит рекомендации по разработке методов оценки устойчивости систем изоляции электрооборудования к воздействию электрического поля при функциональных испытаниях.

## 1. СТАРЕНИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

1.1. Главной целью испытаний является определение изменений существенных характеристик систем изоляции при разной степени воздействия электрических нагрузок, непрерывных или циклических.

Это достигается путем непрерывного или периодического воздействия на модели (или на само оборудование) контролируемых электрических нагрузок.

1.2. Электрические нагрузки, прилагаемые к системам изоляции, могут вызывать старение, выражающееся в одном проявлении или в сочетании нескольких проявлений, главные из которых:

воздействие частичных разрядов, когда локальная напряженность поля превышает электрическую прочность жидких или газообразных диэлектриков, входящих в систему или примыкающих к ней;

воздействие токопроводящих мостиков;

воздействие древовидного трекинга;

воздействие электролиза;

воздействия, перечисленные выше, имеющие место на соседних поверхностях двух изоляционных материалов, где могут возникнуть относительно высокие тангенциальные поля, например, материалов с различной диэлектрической проницаемостью.

Издание официальное Перепечатка воспрещена



gost.e-ecolog.ru

Условия окружающей среды, включающие факторы влажности и температуры, атмосферное давление, грязь, пыль, дым с химическими веществами и т. п., являются важными факторами электрического старения.

1.3. Вредное воздействие электрического старения в большой степени зависит от характера систем изоляции. Наиболее важные переменные факторы, характеризующие систему изоляции — размер электродов, толщина изоляции, концентрация нагрузки, абсолютный уровень напряжения, частота, вероятная интенсивность отказов и изменение интенсивности отказов.

1.4. Обычно электрическую нагрузку рассматривают как фактор старения, если имеют место или ожидаются при рабочем напряжении внутренние или внешние частичные разряды. Наличие разрядов только при перенапряжении можно учитывать, если они бывают часто или если вызванные ими частичные разряды не гасятся при нормальном рабочем напряжении. Когда электрическая нагрузка рассматривается как фактор старения, может возникнуть потребность определения уровня гашения частичных разрядов.

Определить заранее возможность возникновения частичных разрядов можно, исходя из закона Пашена, геометрии систем изоляции, диэлектрической проницаемости изоляционных материалов и плотности газа в пустотах или у поверхностей под электрической нагрузкой.

Другой подход состоит в измерении этих разрядов соответствующими методами. Если эти измерения не обнаруживают частичных разрядов в нужном диапазоне напряжения и когда ясно, что частичные разряды не могут быть причиной повреждений или значительных электромеханических реакций за пределами измерительных способностей используемых приборов, испытания на старение могут не потребоваться.

В некоторых случаях электрическое старение установлено при испытаниях без появления частичных разрядов. Эффекты старения в результате других видов электрического воздействия, например древовидного трекинга, образования токопроводящих мостиков или электролитического воздействия, нельзя обычно определить с помощью простых неразрушающих испытаний системы изоляции. В этих случаях опыт с аналогичными системами может служить руководством при рассмотрении нагрузок, как факторов старения. Ценную информацию по этим воздействиям могут дать предварительные испытания до старения.

Возможно, что электрические нагрузки станут фактором старения только в присутствии других факторов или после их воздействия (например, температуры, влаги, механических нагрузок). Эти другие факторы вызывают обратимые или необратимые изменения характеристик систем изоляции.

В этом случае нужно учитывать электрические нагрузки, если даже они не вызывают старения дополнительно к воздействию других факторов, одновременному или раздельному.

## 2. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

2.1. Для ускорения электрического старения применяют два метода: повышение уровня нагрузки и повышение частоты.

Оба метода можно применять раздельно и одновременно.

Старение под воздействием нагрузок, возникающих лишь при особых обстоятельствах (перенапряжение), обычно не нуждается в ускорении и через повышение уровня нагрузки. Переходное максимальное напряжение можно подавать с перерывами на испытуемые образцы в качестве фактора старения.

2.2. Метод ускорения старения путем повышения уровня нагрузки

2.2.1. Опыт показал, что для данной системы изоляции и данной методики испытания возможно установить эмпирическую зависимость между подаваемым напряжением и временем для пробоя в пределах, установленных для испытаний.

Предложено несколько математических формул для представления этой зависимости. Так как вероятно, что явления, ведущие к электрическому пробою, зависят от продолжительности воздействия, математические формулы часто рассматривают как статистическое выражение результатов. Некоторые из них даны в приложении применительно к методу ускорения путем ступенчатого повышения напряжения.

Состоятельность таких эмпирических формул оценивают по результатам испытаний, полученным при разных напряжениях, которые обеспечивают получение постоянных величин, используемых в этих формулах.

Для получения полезных результатов следует использовать не менее трех уровней электрической нагрузки. В зависимости от исследуемого электрического оборудования, методы могут указывать отношение между минимальным уровнем испытательной нагрузки и уровнем нагрузки, до которого результаты будут экстраполированы. Могут быть указаны и отношения между уровнями испытательной нагрузки.

2.2.2. Разброс результатов измерений на определенном количестве образцов, одинаково изготовленных и испытанных в одинаковых условиях, имеет большое значение. Например, расчетное стандартное отклонение напряжения для установленного времени до пробоя, выведенное из эмпирической зависимости, может изменяться в пределах от нескольких процентов до 10 % и более, а отношение максимального времени до пробоя к минимальному для

одинакового напряжения, подаваемого на аналогичные образцы, может отличаться на один порядок величин и более.

2.2.3. Чтобы правильно представить результаты испытаний на графике, следует получить не менее трех точек, а лучше четыре. Выбранные напряжения должны быть в таком соотношении, чтобы отношение максимального среднего времени до пробоя к минимальному составляло около 1000 : 1.

Минимальный уровень испытательного напряжения можно выбрать таким образом, чтобы среднее значение (или медианное значение) фактической продолжительности испытаний составило существенную часть предполагаемого срока эксплуатации. Во многих случаях типичной величиной считают 5 %. В особых случаях могут быть приняты меньшие значения.

2.2.4. Поскольку действие частичных разрядов является одним из важных факторов старения, обычно полезно измерить величину частичных разрядов (уровень, энергию разряда, квадратичную отдаваемую мощность кажущихся разрядов и т.д.) в условиях рабочего напряжения и частоты и в условиях испытаний. Таким образом оценивают степень старения, достигнутую при испытаниях. Часто считают, что нормальные условия старения достигаются путем повышения частоты. Нет общего правила для ускорения старения путем повышения уровня нагрузок, однако следует соблюдать осторожность в случае большой разницы характеристик частичных разрядов в испытательных и эксплуатационных условиях.

Анализ выделяемых газов, в тех случаях, когда его можно выполнить, может дать информацию об изменении механизма старения.

Известно, что продукты разложения от частичных разрядов обычно состоят из легких углеводородов и окислов углерода, характер и доля которых зависят от энергии потерь на молекулярном уровне.

2.2.5. Внешний вид состаренного образца после пробоя можно сравнить с компонентами, взятыми из работающего оборудования. Анализ твердых продуктов разложения может дать дополнительную информацию.

Эти же приемы можно использовать для выбора других условий испытания или уровня других важных факторов. Опыт показывает, например, что условия, при которых происходят частичные разряды, сильно изменяются с изменением температуры, а также других характеристик, например, проницаемости газов, выделяемых при старении. Предварительные испытания нужны, чтобы выбрать температуру в ходе испытаний или определить две и более температуры или изменения температуры в ходе испытаний для воспроизведения условий, наиболее приближенных к ожидаемым условиям эксплуатации.

2.2.6. Для оценки изменений существенных характеристик на объекты испытаний можно воздействовать одновременно или периодически диагностическими факторами.

Критерием конечной точки может быть:

пробой при испытательном напряжении;

пробой при перенапряжении, которое можно подавать периодически;

достижение установленного уровня диагностического фактора.

Оценка часто включает ускоренное испытание электрической устойчивости в определенных условиях окружающей среды.

2.2.7. Поскольку нельзя заранее установить пробивное напряжение для данного времени, необходимо определить, например, напряжения $V_1$, $V_2$, $V_3$ и $V_4$, если используют четыре напряжения, чтобы можно было планировать время пробоя для этих напряжений. Отношения $V_2/V_1$, $V_3/V_2$ и $V_4/V_3$ можно установить на основании опыта или предварительных испытаний на аналогичных моделях с испытуемой изоляцией конкретного типа. Например, может быть выбрано частное отношение $V_2/V_1=V_3/V_2=V_4/V_3=1{,}2$. Аналогично, исходя из опыта или предварительных испытаний, можно выбрать отношение минимального испытательного напряжения $V_1$ к рабочему напряжению $V_n$.

2.2.8. Распределение времени до пробоя отдельных образцов при данном напряжении $V_i$ часто можно представить в виде нормального распределения Гаусса. Иногда его лучше представить в виде нормального логарифмического распределения.

Установлено, что пригодны и другие статистические распределения. В настоящее время многие исследователи широко используют распределение Вейбулла, которое в некоторых случаях лучше нормального логарифмического распределения. В первом случае (нормальное распределение) среднюю величину распределения обычно принимают в качестве представительной характеристики популяции. Этот параметр можно вычислить по формуле

$$t_i = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} t_{ij}}{n}, \qquad (1)$$

где $t_{ij}$ — определенные значения времени до пробоя при напряжении $V_i$;

$n$ — количество образцов, испытываемых при напряжении $V_i$ ($j=1, 2 \ldots . n$).

Во втором случае (логарифмическое нормальное распределение) лучше использовать среднее логарифмическое значение, которое вычисляют по формуле

$$\log t_i = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} \log t_{ij}}{n}. \qquad (2)$$

На это значение меньше влияет какая-либо одна чрезвычайно высокая величина.

В обоих случаях медианную величину можно принять за представительную характеристику (среднее арифметическое или логарифмическое время до пробоя). Это значение равно времени $\frac{n+1}{2}$, если $n$ — нечетное число и равно среднему значению времени $\frac{n}{2}$ и времени $\left(\frac{n}{2}+1\right)$, если $n$ — четное.

Последний метод дает менее точный расчет параметров распределения, чем первые два (т.е. более высокую стандартную ошибку), однако ее преимущество в том, что испытание можно прекратить, когда пробиты около половины образцов. В одном эксперименте, включающем испытания на нескольких уровнях напряжения, следует использовать только один метод определения расчетных параметров популяции.

2.3. Метод ускорения старения путем повышения частоты

2.3.1. По общему признанию, для старения в результате действия частичных разрядов срок службы при данном напряжении обратно пропорционален частоте, пока число и энергия разрядов за период постоянны. Эта гипотеза справедлива только до определенных уровней частоты, условий испытания и типа системы изоляции. Это не может быть общим правилом. Старение, вызванное другими причинами, кроме частичных разрядов, может быть ускорено и не в соответствии с этим законом. Диэлектрические потери, увеличивающиеся с повышением частоты, не должны существенно влиять на температуру образца. Важно следить за этой температурой и регистрировать ее.

Как и в случае ускорения старения путем повышения напряжения, любое ускорение повышением частоты допустимо только после тщательного доказательства обоснованности его применения. Опыт показал, что некоторые системы изоляции не нужно подвергать воздействию частот выше нескольких сот Герц, тогда как другие дают очень обоснованные результаты при воздействии частот в несколько тысяч Герц.

2.3.2. Для систем, работающих на частотах 50—60 Гц, не рекомендуется применять при испытаниях частоту выше 1000 Гц без тщательного исследования.

В некоторых случаях рекомендуется проводить эти испытания в дополнение к испытаниям с повышением уровня напряжения при промышленной частоте. В этом случае результат испытания с повышением частоты может быть преобразован в эквивалентный срок службы при промышленной частоте. Методы могут устанавливать условия, при которых результаты высокочастотных испытаний можно принять эквивалентными результатами испытаний при рабочей частоте, умножив время на отношение частот. Когда хорошо

известны механизмы старения, методы могут установить условия, при которых можно считать достаточными испытания с частотным ускорением без сравнения с результатами испытания при рабочей частоте.

2.4. Методы испытаний для оценки устойчивости систем изоляции электрооборудования к электрическим нагрузкам должны включать описания, дающие ясное представление о целях конкретных испытаний:

а) давать статистическую согласованность результатов при достаточном научно-техническом обосновании;

б) обеспечивать получение данных, не зависящих от испытателей;

в) обеспечивать сведения, согласующиеся с опытом эксплуатации в общепринятых рамках.

2.5. Там, где это возможно, для оценки систем изоляции следует использовать то оборудование, частью которого они являются. Однако, когда размеры и удобство требуют этого, системы изоляции можно оценивать на моделях, а не на реальном оборудовании. Методы испытаний должны включать описание моделей, если они используются; модель может включать несколько систем изоляции или испытуемых образцов.

Модели должны включать существенные элементы оборудования, особенно те, которые испытывают электрические нагрузки. Однако иногда устройства, распределяющие напряжение, нужно приспосабливать к испытательным нагрузкам.

В методах испытаний должно быть определено минимальное число моделей и образцов для испытаний в конкретных условиях старения, для получения достаточной статистической точности. Чем шире разброс времени до пробоя между образцами на каждом уровне электрических нагрузок, тем большее количество образцов требуется для достижения приемлемой степени доверия.

Поэтому число объектов для испытаний на каждом уровне нагрузок определяют статистическим анализом разброса времени до пробоя и степенью желаемой точности при определении среднего срока службы образца. Иногда в качестве расчетной величины этой характеристики используют медианное значение.

Чтобы подтвердить типичность объектов испытаний для испытуемых систем, можно провести предварительные испытания.

2.6. Следует отметить, что результаты оценки электрической устойчивости в разных условиях окружающей среды не могут сопоставляться непосредственно.

Признано, что особенно значительным является влияние температуры на устойчивость к электрическим воздействиям, но характер этого явления зависит от условий испытания и системы изоляции. При установлении методов испытаний этому нужно уделять

особое внимание. Испытания следует проводить при двух и более температурах, охватывающих весь диапазон рабочих температур.

Когда оборудование работает в особых атмосферных условиях, (например, в химически активной среде, пыли или в жидкости), условия испытаний могут воспроизводить условия эксплуатации. Поэтому в таких особых случаях условия окружающей среды должны быть оговорены в методе испытаний.

2.7. Методы испытаний должны учитывать возможное воздействие продуктов разложения сопутствующих материалов на системы изоляции. Такие материалы могут быть частью системы изоляции или соприкасающейся частью механической опоры, самого оборудования или охлаждающего средства. Вентиляция, используемая при старении объектов испытаний, не должна существенно влиять на механизм старения, обычно действующий при эксплуатации. Следует обратить внимание на удаление или сохранение продуктов разложения.

2.8. Технические требования к уровням электрической нагрузки, частоте и другим условиям испытаний должны включать допуски по установленным величинам. Должны быть учтены число и продолжительность перерывов подачи напряжения. Во многих случаях напряжение поддерживали в пределах $\pm 2$ % установленной величины с кратковременными (менее 5 % времени) отклонениями до $\pm 5$ %.

2.9. При оценке систем изоляции с помощью ускоренных функциональных испытаний важным источником ошибочных выводов является трудность обнаружения возможных изменений механизмов старения, когда условия испытаний отличаются от рабочих. Риск возрастает с ускорением испытаний. Поэтому необходимо проверять соблюдение условий идентичности механизмов старения при испытании и при эксплуатации.

При оценке могут быть учтены следующие измерения и наблюдения:

а) диэлектрические потери;

б) амплитуда и распределение во времени частичных разрядов;

в) изменение крутизны кривой зависимости между уровнем нагрузки и временем до пробоя;

г) изменение статистического распределения времени до пробоя;

д) изменение мест пробоев и их внешнего вида.

Возможны дополнительные методы контроля.

Все приемы контроля механизмов старения не должны оказывать заметного старящего воздействия, сравнимого со старением при испытаниях.

2.10. Могут оказаться полезными методы диагностики и критерии конечной точки, кроме электрического пробоя.

Методы диагностики описаны в ГОСТ 27905.2—88.

Выбранные методы диагностики должны быть указаны в методиках испытаний. Многие диагностические измерения можно производить, не прерывая длительных испытаний. Другие приемы диагностики можно использовать в промежутках между испытаниями после отключения напряжения от образцов, например, при проверочных испытаниях на стойкость к перенапряжениям, воспроизводящих перегрузки при эксплуатации. Все диагностические измерения не должны оказывать заметного эффекта старения, сравнимого со старением при испытаниях.

## 3. ВАРИАНТЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЯ

3.1. В методах испытаний может быть оговорено, что все объекты нужно испытывать при фиксированных уровнях электрических нагрузок до пробоя. В результате этих испытаний можно получить характерные значения времени до пробоя на каждом уровне нагрузки и интерпретировать их.

3.2. В особых случаях возможно провести испытания на электрическую устойчивость с повышением уровня нагрузки для каждого объекта испытаний.

При этом необходимо указывать, в дополнение ко всем уже упомянутым условиям испытаний, определенную математическую зависимость между уровнем нагрузки и временем до пробоя, а также метод приведения всех результатов испытаний к общим значениям времени или уровня нагрузки.

Проверка неизменности механизмов старения особенно важна для испытания электрической устойчивости с повышением уровня нагрузки. Пример такой методики описан в приложении.

3.3. В циклических испытаниях могут быть использованы постоянные либо повышающиеся уровни нагрузок. Каждый цикл испытаний должен включать воздействия электрической нагрузки. Необходимо устанавливать продолжительность каждого цикла. Если перенапряжения рассматриваются в качестве факторов старения, при эксплуатации систем изоляции должна быть оговорена также периодичность подачи перенапряжения. В методах испытаний должны быть указаны число, продолжительность и уровень воздействия таких подач.

3.4. Результаты испытаний могут быть представлены на графике с указанием средних и медианных значений времени до пробоя. Можно использовать логарифмическую или полулогарифмическую координатную бумагу. Предпочтительно использовать график с лучшей линейностью.

Методика может быть выбрана на основании опыта.

Если применялось ускорение путем повышения как уровня нагрузки, так и частоты, то график нужно строить для каждой частоты. В этом случае, если результаты при одном уровне напряжения и двух частотах дают соотношение времени достаточно близкое обратному соотношению частот, то улучшается интерпретация результатов.

При оценке зависимости между уровнем электрической нагрузки и временем до пробы координаты этих зависимостей должны быть градуированы в действительных значениях времени (например, в часах) либо в пределах испытаний, либо экстраполированно.

Однако экстраполяции не обязательно будут отражать срок службы оборудования в абсолютных выражениях.

При испытании систем изоляции в целях единообразия методов следует указывать:

а) пределы электрических нагрузок, за которыми значения устойчивости систем изоляции могут быть экстраполированы, или до какого предела может быть выполнена экстраполяция;

б) математическая обработка данных, включая выражение доверительных пределов;

в) дополнительные ограничения, касающиеся экстраполяции и разброса данных, если зависимость между электрической нагрузкой и временем до пробоя в используемой системе координат нелинейна;

г) значения электрической нагрузки или времени, используемые для расчета рабочих характеристик сравниваемых систем изоляции.

Изложенные выше соображения могут быть различными для разных типов оборудования и систем изоляции. Соответствующие статистические распределения и масштаб применяемых преобразований могут также быть различными.

Для случаев, когда зависимости между электрической нагрузкой и временем до пробоя для сравниваемых систем изоляции совершенно несходны или недостаточно параллельны в графическом представлении, должны быть указаны особые ограничения.

*ПРИЛОЖЕНИЕ*
*Справочное*

## МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ПОВЫШЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ

1. Отдельные значения времени до пробоя группы одинаковых образцов, испытуемых при одинаковом напряжении могут изменяться в десять раз и даже больше, а отношение максимального времени к медианному или среднему времени до пробоя может быть 3:1 или больше. Поэтому время до пробоя последних образцов намного больше среднего или медианного времени, которые являются весьма ценными величинами для этих испытаний. Можно сократить полное время испытания всех образцов, применив ступенчатое повышение испытательного напряжения.

Можно применить также комбинированный метод — подавать напряжение соответствующее медианному времени до пробоя, а затем перейти к ступенчатому повышению напряжения.

2. При испытаниях со ступенчатым повышением напряжения, необходимо выбрать математическое правило расчета результатов.

Были предложены различные математические формулы:

$$V^k T = A \qquad (1)$$

$$(V - V_0)^k T = A \qquad (1a)$$

$$V = V_0 - N \log \frac{T}{T_0} \ , \qquad (2)$$

где $V$ и $T$ соответственно — подаваемое напряжение и продолжительность его воздействия;

$V_0$ и $T_0$ — пара частных величин;

$A$, $k$ и $N$ — постоянные, свойственные испытуемым системам.

Для обоснования этих формул были опубликованы различные теоретические исследования. Некоторые авторы придерживаются двух функций типа (1) с разными коэффициентами по обеим границам некоторого предела времени.

В настоящем отчете принято математическое выражение (1), которое можно записать как

$$k \log V + \log T = \log A .$$

Графически его можно представить в логарифмических координатах в виде прямой линии.

Этот метод применим, когда $k$ (крутизна кривой электрической устойчивости на логарифмическом графике) приблизительно установлена по результатам предшествующих испытаний или испытаний на электрическую устойчивость, полученных до достижения медианного времени до пробоя. Конечные точки для более прочных образцов или другой не испытанной группы аналогичных образцов можно определить по этому методу ступенчатым повышением напряжения со значительной экономией времени.

В случаях, когда $k$ неизвестно, могут быть использованы другие методы с другой теоретической основой. Их описание имеется в литературе, но не является предметом настоящего отчета.

3. С учетом допущения, изложенного выше, напряжение $V' = aV$, поданное за время $T'$, отнимает от срока службы часть, эквивалентную подаче напряжения $V$ за время $T$, если

$$T' = \frac{1}{a^k} \cdot T .$$

Особенно при выборе $a=\sqrt[k]{2}$ подача напряжения $V_i$ за время $T_i$ эквивалентна подаче напряжения $aV_i$ за время $T_i/2$. При использовании $n$ образцов напряжение подают ступенями в геометрической прогрессии $V_0$, $aV_0, \ldots,$ $a^pV_0$ для времени $T_0, T_1 \ldots, T_p$ на все образцы.

Если испытуемый образец пробит при напряжении $a^pV_0$, общее время $T_a$, эквивалентное этому напряжению, составит

$$T_a=\frac{T_0}{2^p}+\frac{T}{2^{p-1}}+\ldots+\frac{T_{p-1}}{2}+T_p. \qquad (3)$$

Тогда срок службы рассматриваемого образца при напряжении $a^pV$ будет $T_a$, и в соответствии с уравнением (1) можно принять, что при любом напряжении $V$ срок службы будет $T$, если

$$V^kT=(a^pV_0)^kT_a. \qquad (4)$$

Если использовали $n$ образцов, то каждому соответствует пара значений

$$(a^pV_0)_i;\quad T_{ai} \text{ при } i=1 \text{ до } n.$$

Чтобы установить распределение величин относительно этих образцов, легко привести величины, найденные по формуле (4) для каждого образца, к значениям, соответствующим медианным значениям времени $(T_{a_i})_{i=1}^{i=n}$, так как это время принято в качестве соответствующего пробою образца $\frac{n+1}{2}$, если $n$ нечетное, или среднему из значений времени, соответствующих образцам $\frac{n}{2}$ и $\left(\frac{n}{2}+1\right)$, если $n$ четное. Предположим, что это время $T_m$. Для каждого образца с помощью уравнения (4) будет вычислено напряжение, соответствующее этому сроку службы, что даст $n$ напряжений $V_{mi}$, соответствующих сроку службы $T_m$. Из этих $n$ значений напряжения вычисляют среднее напряжение для группы образцов

$$V_m=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n}V_{mi}.$$

Вычисляют также элементы, относящиеся к разбросу, например, соответствующее стандартное отклонение

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(V_{mi}-V_m)^2}{n-1}}.$$

4. Если были использованы четыре группы образцов, для каждой группы определяют средние значения $V_m$, соответствующие времени $T_m$, а также стандартные отклонения $S$.

Кривую срока службы можно также построить на логарифмической миллиметровой бумаге.

Если допущения, данные в п. 1 точны, то четыре точки размещаются на одной линии, или более точно, можно провести прямую линию в доверительных пределах при 95 % средних значений напряжения, а крутизна этой прямой с логарифмическими координатами соответствует коэффициенту $k$ формулы (1).

Экстраполяция невозможна, если оба эти условия не выполняются.

**5. Комбинированная методика испытания**

Постоянное по величине напряжение — повышающееся напряжение.

Если характеристики испытуемых систем изоляции достаточно хорошо известны, чтобы выбрать исходное напряжение $V_0$ таким, что половина образцов будет пробита в течение времени, предусмотренного для испытаний, то экономия времени будет максимальной.

По этой методике продолжительность подачи $T_0$ напряжения $V_0$ на первой ступени заранее не устанавливают. Оно соответствует времени до пробоя числа образцов $\frac{n+1}{2}$, если $n$ — нечетное, или $\left(\frac{n}{2}+1\right)$, если $n$ — четное.

Продолжительность подачи $T_1, T_2, \ldots, T_p$ последующих ступеней напряжения $V_1=aV_0$, $V_2=a^2V_0$ и т. д. можно будет сделать приблизительно равной $T_0/10$; при этих условиях можно ожидать, что последний образец будет пробит за время, равное или меньше 1,4 $T_0$.

Кроме того, медианное значение пробивного напряжения каждой группы образцов определяют без предварительного допущения по закону старения.

Эта методика испытаний может быть рекомендована особенно, когда в результате предварительных испытаний установлен исходный уровень испытательного напряжения $V_0$.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

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

**ИСПОЛНИТЕЛИ**

**А. В. Хвальковский**, канд. техн. наук; **Е. И. Ярошеня**, канд. техн. наук; **В. П. Вайсфельд**

2. **Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 25.11.88 № 3842 международный стандарт МЭК 727—1—82 «Оценка устойчивости систем изоляции электрооборудования к длительному воздействию электрического поля. Часть 1. Общие положения и методы оценки, основанные на нормальных распределениях» введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта СССР с 01.01.90**

3. **ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ**

4. **ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ**

| Пункт, в котором приведена ссылка | Обозначение стандарта МЭК | Обозначение государственного стандарта |
|---|---|---|
| 2.10 | МЭК 610—78 | ГОСТ 27905.2—88 |

gost.e-ecolog.ru