УДК 621.315.62.001.4:006.354 Группа Е30

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Методы многофакторных функциональных испытаний

Electrical insulation systems.
Methods of multi-factor functional tests

ГОСТ
27905.3—88
(МЭК 792—1—85)

ОКСТУ 3409

Срок действия с 01.01.90
до 01.01.2000

Настоящий стандарт содержит рекомендации по разработке методов многофакторных функциональных испытаний систем электрической изоляции электрооборудования.

Стандарт предусматривает моделирование механизма старения, происходящего при эксплуатации, в условиях функциональных испытаний при возможно большей простоте и практичности испытаний.

1. ПОДГОТОВКА МЕТОДОВ МНОГОФАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

1.1. Для обоснования метода оценки систем изоляции электрооборудования должен быть сделан обзор накопленного опыта эксплуатации, регистрации отказов, опыта разработки систем изоляции, общей конструкторской практики и т. п.

Метод оценки должен быть обоснован, исходя из имеющихся знаний, так, чтобы уменьшить в разумных пределах риск появления неизвестных зависимостей, обесценивающих результаты.

Могут быть разработаны методы, предусматривающие выбор последовательного действия в зависимости от результата каждого предшествующего действия. В качестве другого подхода возможно проведение исследований или испытаний с целью получения фундаментальных знаний, необходимых для детализации методики многофакторных испытаний. Особо важно, например, выявление факторов старения и их сравнительного значения, выявления взаимодействия между факторами и их характера.

1.2. Многофакторные функциональные испытания необходимы:

когда более чем один фактор старения может существенно повлиять на рабочие характеристики системы изоляции и известно или предполагается, что изменения рассматриваемых характеристик

Издание официальное Перепечатка воспрещена

gost.e-ecolog.ru

не влияют друг на друга или нет полной уверенности в отсутствии фактора взаимодействия;

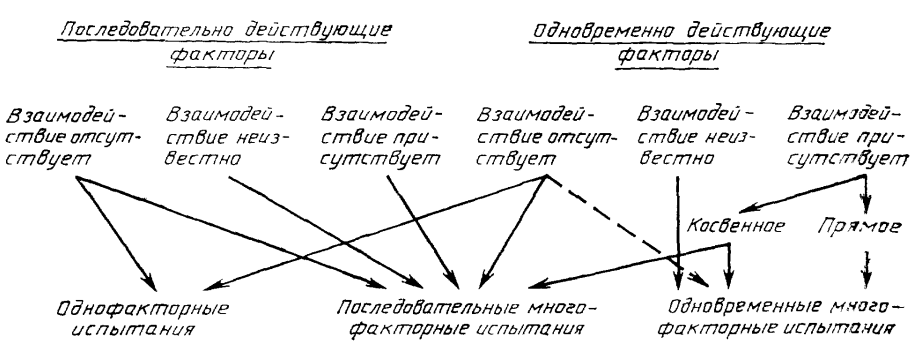
когда известно или предполагается существование прямого взаимодействия по крайней мере одного фактора старения с другим влияющим фактором.

Одновременное воздействие эксплуатационных факторов можно достоверно воспроизвести путем одновременных испытаний. Однако в зависимости от наличия аппаратуры для старения, как вариант, можно рассматривать последовательные испытания. Этот подход эффективен при условии, что взаимодействия между факторами косвенны или вовсе отсутствуют.

Даже в случае, если одиночные факторы по одному считаются равнозначными (что можно предположить, но обычно с достоверностью не известно), предпочтение отдают последовательному испытанию на тех же объектах перед рядом самостоятельных однофакторных испытаний для определения тех же факторов на разных партиях объектов испытаний. Хотя необходимо следить за тем, чтобы последовательное ускоренное приложение факторов не вызвало появления механизмов отказа, не встречающихся при эксплуатации, в этом методе заключена потенциальная возможность сокращения усилий, затрачиваемых на испытание, обеспечивая в то же время косвенные взаимодействия, аналогичные эксплуатационным.

Схема иллюстрирует выбор метода испытаний, который может дать надежную оценку для разных сочетаний факторов и различной степени осведомления о взаимодействии.

Схема выбора надежного метода испытаний на основе известных или экспериментально полученных эксплуатационных зависимостей



При подготовке отборочных испытаний с целью установления отсутствия или присутствия важных взаимодействий и их типа может быть полезно использование статистических методов.

1.3. Воспроизводимые эксплуатационные условия

Для каждого типа оборудования должны быть определены факторы старения и другие влияющие факторы, о которых известно или предполагается, что они влияют на срок службы изоляции. Факторы и механизмы старения следует ранжировать по степени их важности и отмечать изменение этого порядка в течение срока службы изоляции. Следует установить порядок появления этих факторов (одновременно, последовательно), а также информацию об относительном рабочем времени и уровнях нагрузки от факторов в эксплуатации (номинальные, средние, условия перегрузки, переходные явления, нагрузки в периоды остановки и т. п.).

Рекомендуется определить совокупность эталонных условий эксплуатации, исходя из перечисленного выше, с целью выбора условий старения при испытаниях. Для эталонных условий эксплуатации нужно указать факторы, уровень нагрузки, последовательность и относительное рабочее время.

Для облегчения детализации максимально упрощенных испытаний может быть полезным рассмотреть отдельно разные условия эксплуатации, возникающие всегда в разное время, в определенной или случайной последовательности. Такими условиями могут быть, например, пуск, обычные изменения нагрузки, различного рода аномальная работа (перегрузки, переходные явления), внезапные остановки, длительные остановки, хранение, транспортировка. В некоторых случаях можно учитывать циклические изменения, например, день и ночь. Таким подходом можно сравнительно легко установить фактические сочетания внешних факторов окружающей среды с внутренними факторами, зависящими от нагрузки. Затем экспертным путем можно вычислить сравнительную важность факторов и их сочетаний.

1.4. Взаимодействие между факторами

Знание действительных физических механизмов разрушения изоляции важно для правильного и рационального построения функциональных испытаний. Знание относительного присутствия и рода взаимодействия между факторами также может способствовать упрощению метода старения при постепенном воспроизведении условий эксплуатации.

Старение под одновременным воздействием факторов при эксплуатации можно моделировать путем их одновременного воздействия при испытаниях. Это становится необходимо в случае их прямого взаимодействия. Если известно, что взаимодействие не прямое, то последовательное приложение этих факторов будет эффективным вариантом, сокращающим усилия, необходимые для осуществления испытаний.

Старение под последовательным воздействием факторов можно лучше всего моделировать путем их последовательного приложе-

ния при многофакторном испытании. Наличие и род взаимодействия факторов следует определять, исходя из опыта эксплуатации и знания действующих механизмов разрушения изоляции.

Примечания:

1. Взаимодействие может ускорить или замедлить скорость старения.

2. Без должной проверки и практического подтверждения обширным опытом нельзя исключать температуру и окружающую среду как факторы, которые могут взаимодействовать.

3. Когда оборудование при эксплуатации испытывает воздействие одновременно действующих факторов, старение можно воспроизвести одновременным либо последовательным воздействием факторов в ходе функциональных испытаний в зависимости от вида взаимодействия между факторами.

С другой стороны, когда оборудование испытывает воздействие последовательно действующих факторов, моделирование требует последовательных испытаний независимо от того, как будет происходить старение, если они будут действовать одновременно. Например, силовое электронное оборудование, работающее под нагрузкой в течение некоторого периода и периодически отключаемое на время, достаточно продолжительное, чтобы впитать влагу, и затем снова включаемое, подвергается периодическому воздействию температурного и влажного циклов.

Примеры взаимодействия между влияющими факторами приведены в приложении.

1.5. Типы методов испытания

В соответствии с существующим положением функциональные испытания систем изоляции, используемых в оборудовании с длительным сроком службы, могут носить только сравнительный характер.

При сравнении исследуемой системы изоляции с известной контрольной системой, имеющей документально зарегистрированные данные об эксплуатации, возможны три случая:

а) оценка пригодности для идентичных условий эксплуатации. Этот случай простейший. Все методы старения и диагностики одинаковы для исследуемой и эталонной систем. Для уменьшения разброса результатов рекомендуется проводить испытания одновременно на одинаковых установках;

б) повышение качества для обеспечения более высокого уровня устойчивости к нагрузкам, не связанным со старением.

Методы старения для обеих систем будут одинаковы. Методы диагностирования будут отличаться по уровню прилагаемых нагрузок, возможно, также и по факторам диагностики. Сочетание и последовательность факторов диагностики должны быть возможно более схожими, но при максимальной близости модели к эталонным условиям эксплуатации;

в) повышение качества для обеспечения более высокого уровня устойчивости старению.

В этом случае методы диагностирования, в основном, остаются одинаковыми. Методы старения будут отличаться по уровню прилагаемых нагрузок, однако виды, сочетания и последовательности факторов, влияющих на старение образцов, должны быть одинаковыми.

2. МЕТОДЫ СТАРЕНИЯ

2.1. Ускоренные испытания на старение обычно носят циклический характер. Каждый цикл может иметь следующие подциклы:

подциклы однофакторного старения;

подциклы многофакторного старения при одновременном воздействии соответствующих факторов;

подциклы диагностики.

2.1.1. *Подциклы однофакторного старения*

В течение этих подциклов образцы системы изоляции испытывают в каждый момент времени воздействие одного фактора.

Факторами старения в эти подциклы являются те факторы эталонных условий (п. 1.3), которые при эксплуатации действуют последовательно без прямого взаимодействия с другими одновременно действующими факторами старения. Если известно, что одновременно действующие факторы вступают только в косвенное взаимодействие, то тогда каждый из них может также действовать в подцикле однофакторного старения.

Для каждого фактора проводят один подцикл с усилением его действия. Другим факторам приписывают нулевой или незначительный эффект.

2.1.2. *Подциклы многофакторного старения*

В этих подциклах на испытуемые образцы воздействуют одновременно два и более фактора. Если возможно, воздействие каждого фактора нужно усиливать, чтобы получить равную долю в интенсивности старения. При выборе уровня частот может быть полезна имеющаяся информация об однофакторном старении системы изоляции. Как следствие взаимодействия, совокупное ускорение может быть существенно другим. Поэтому следует выбирать умеренные значения отдельных ускорений.

2.1.3. *Подциклы диагностики*

Эти подциклы часто состоят из последовательных операций с частично различными целями, например:

с потенциальным разрушением для обнаружения деградации с помощью механической вибрации, которая может вызвать трещины в изоляции, приобретшей хрупкость;

кондиционирование, например, при помощи увлажнения для усиления выявляющей способности последующих контрольных испытаний;

диагностические испытания с потенциальным разрушением

(контрольные испытания), например, кратковременная подача установленного напряжения;

определение одного или нескольких свойств без разрушения или с разрушением.

Дальнейшие соображения относительно выбора этих операций и соответствующих конечных точек приведены в п. 3.2.

2.2. Продолжительность циклов

Обычно ускорения и продолжительность циклов нужно выбирать так, чтобы около половины объектов испытаний пробивались в продолжении 10 циклов однофакторных испытаний (или, по крайней мере, однофакторных испытаний с максимальным эффектом старения). Тогда при многофакторных испытаниях более половины объектов испытания, как полагают, были бы пробиты за 10 циклов старения.

По завершении последнего запланированного цикла (десятого цикла или когда пробита половина объектов испытания) могут быть проведены дополнительно диагностические испытания, чтобы получить больше информации о состоянии системы изоляции в конце испытаний на старение.

Нужно следить за тем, чтобы изменения соответствующих характеристик за один подцикл не были слишком большими, поскольку большие изменения могут способствовать образованию неожиданных механизмов старения.

2.3. Воспроизведение эксплуатационного старения путем одного или нескольких однофакторных испытаний на определенных образцах предусмотрены в ГОСТ 10518—88 и ГОСТ 27905.1—88.

3. УСКОРЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

3.1. Для каждого фактора старения устанавливают постоянную величину ускорения по уровню и частоте, которая остается неизменной в течение всех испытательных циклов. Выбрать величину ускорения нагрузки, а значит и степени усиления одиночного фактора для каждого подцикла, удобнее всего по результатам предшествующих однофакторных испытаний.

Для каждой нагрузки рекомендуется примерно одинаковая степень ускорения (п. 2.1.2).

3.2. Диагностические факторы и критерии конечной точки

При выборе последовательности отдельных операций, составляющих диагностический подцикл (п. 2.1.3), следует руководствоваться имеющимися сведениями о механизме старения при эксплуатации. Рекомендуется использовать факторы, не влияющие на старение и уровни эталонных условий эксплуатации, упомянутых в п. 1.3. Во многих практических случаях удовлетворительной будет последовательность, описанная в п. 2.1.3, т. е. операции с по-

тепловым разрушением — кондиционирование — контрольные испытания и/или определение величины характеристик. Метод диагностики должен включать уточнение конечной точки. Это может быть физический отказ испытуемого объекта в течение подцикла старения, который можно обнаружить сразу же или в ходе следующего диагностического подцикла. Это может быть и событие или условие, например, отказ по причине диагностической операции или достижения предельной характеристики. Конечную точку можно охарактеризовать одним условием (т. е. уровнем а характеристики А) или одним из нескольких (уровень а характеристики А или уровень в характеристики В и т. д.), или сочетанием условий (уровень а характеристики А и уровень в характеристики В и т. д.). Нужные критерии конечной точки можно установить путем анализа отказов, анализа нагрузок и/или соответствующих испытаний.

3.3. Оценка результатов испытаний

Самым прямым способом оценки результатов функциональных испытаний исследуемой и эталонной систем изоляции является сравнение времени достижения ими при испытании заданного критерия конечной точки. Если на доверительном уровне, установленном техническим комитетом по оборудованию, нет статистически существенной разницы между распределениями величин времени до достижения критерия конечной точки для исследуемого и эталонного объектов испытаний, то можно заключить, что они эквивалентны с точки зрения проведенных испытаний.

Однако иногда в пределах запланированного числа испытательных циклов не происходит отказов или число их незначительно. Тогда существуют две возможности: либо продолжать испытательные циклы до тех пор, пока число отказов не достигнет величины, достаточной для статистического анализа, либо провести дополнительно диагностические испытания с целью установления степени старения систем изоляции, сравниваемых по избранным критериям конечной точки.

Могут быть применены два типа диагностических испытаний.

Вообще более информативным может быть представление результатов в виде кривых избранных характеристик систем изоляции в зависимости от продолжительности испытаний. Эти характеристики могут быть определены с помощью испытаний без разрушения или с разрушением.

Когда в качестве критериев старения изоляции выбирают изменения характеристик, измеренных без разрушения, их можно сравнивать для исследуемой и эталонной систем изоляции после каждого цикла функциональных испытаний, каждый раз используя одни и те же образцы. Эта методика требует соответствия критериев конечной точки изменениям характеристик.

Когда для определения прогрессивного старения систем изоляции в ходе циклических функциональных испытаний выбирают

диагностические разрушающие испытания, необходимо обеспечить достаточное количество объектов испытаний, содержащих исследуемую и эталонную систему изоляции, для надежной статистической оценки данных об отказах. В этом случае запланированное количество объектов испытаний периодически изымают из функциональных испытаний по графику циклов старения, осуществляемых для каждой из степени старения, по которым требуются данные об изменении характеристик. Обычно группу объектов испытаний изымают только после завершения всех запланированных подциклов последнего цикла старения. Для оценки можно сопоставить результаты испытаний каждой системы, выраженные цифрами или графиками.

Для диагностических испытаний как с разрушением, так и без него важно провести измерения на объектах испытания, не подвергавшихся старению, так, чтобы можно было зарегистрировать исходное состояние в цифровом или графическом выражении.

3.4. Протокол испытаний

Протокол испытаний должен включать:

описание систем изоляции;

описание опыта эксплуатации, касающегося эталонной системы, включая взаимодействия (в случае необходимости);

эталонные условия;

факторы старения и их уровни при испытании. Индивидуальное ускорение каждого фактора;

последовательность испытания;

диагностические операции, испытания и измерения;

выбранные критерии конечной точки;

кривые старения;

время достижения конечной точки, индивидуальные и медианные значения, статистическую обработку, если она целесообразна;

идентификацию новой системы и эталонной системы.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Справочное

ПРИМЕРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ВЛИЯЮЩИМИ ФАКТОРАМИ

Ниже дан краткий обзор нескольких хорошо известных механизмов взаимодействия между влияющими факторами. Этот обзор ни в коей мере не является исчерпывающим, в нем лишь собраны более или менее типичные примеры.

При реальной эксплуатации как в названных примерах, так и в других случаях взаимодействия старение систем изоляции может преобладать в конкретном типе оборудования в течение всего срока его службы. Однако может случиться, что одновременно будут существовать несколько видов взаимодействия. Тщательное изучение отказов при эксплуатации оборудования самых разных типов показало, что очень большое значение имеет возможность коренных изменений механизма старения и главного фактора старения иногда еще до истечения срока службы изоляции. Например, постепенное старение, вызванное одним господствующим фактором (возможно, при взаимодействии с другими факторами), может необратимо изменить состояние изоляции настолько, что разрушение под воздействием другого фактора становится преобладающим. Это может произойти в результате того, что первичное изменение усиливает либо второй фактор, либо его действие на постоянном уровне.

Аналогичное действие могут также произвести обратимые изменения состояния системы изоляции, например, преобразования, которые происходят при определенных температурах, такие, как плавление, стеклование и пр.

1. Тепловое старение

Сущность теплового старения состоит в развитии химических и физических изменений в результате химических реакций разложения, полимеризации, диффузии и т. п. Эти процессы связаны с изменением интенсивности реакций, стремящихся к термодинамическому равновесию. Если нормальное тепловое старение производит нестабильный компонент, то этот компонент может вступать в реакцию с компонентами другого рода, влияя на общую скорость химической реакции, а значит и на интенсивность теплового старения.

Другие аспекты связаны с появлением механических напряжений от постоянных, переходных или периодических градиентов температуры. Их можно рассматривать как явление либо теплового, либо механического старения.

1.1. Взаимодействие Е

Основное взаимодействие электрической нагрузки обычно способствует повышению температуры. Такие взаимодействия разделяются на две группы:

1) повышение температуры и изменение температурных градиентов благодаря диэлектрическим потерям. Они зависят от напряжения, частоты и свойств материала. В крайних случаях может возникнуть тепловая неустойчивость. Это — прямое взаимодействие. В условиях испытаний при определении испытательной температуры следует учитывать среднее или максимальное повышение температуры;

2) электрическое старение, особенно от частичных разрядов и до некоторой степени от трекинга, кроме своего непосредственного эффекта, производит агенты (химически активные вещества из газа, в котором происходят разряды, свободные радикалы и ионы в зонах соприкосновения с изоляцией), которые могут существенно повлиять на процессы, связанные со скоростью реакций. Эти взаимодействия могут быть прямые или косвенные в зависимости от продолжительности нахождения активных агентов в реальной окружающей среде.

1.2. Взаимодействие А

С учетом того, что химический процесс обычно является частью механизма теплового старения, очевидно, что важную роль будет играть состав среды, окружающей систему изоляции.

Например, содержание кислорода будет прямо влиять на окисление. Влажность также может оказывать сильное влияние на тепловое старение. Когда имеют дело с особой окружающей средой или когда в состав системы изоляции входят жидкие диэлектрики, химически активными могут быть продукты разложения окружающей среды или жидкостей. То же и с агентами, которые могут присутствовать в обычных условиях эксплуатации или попадать случайно (неисправность систем охлаждения, загрязнение смазки и т. п.).

Следует признать возрастающее значение радиации.

В зависимости от случая воздействия факторы окружающей среды бывают прямыми или косвенными.

1.3. Взаимодействие М

Влияние механического старения можно проиллюстрировать эффектом расслоения слоистой структуры изоляции при передаче тепла через эту изоляцию. Это может вызвать значительное повышение местной температуры, что влияет на процессы, связанные со скоростью реакций, температурные градиенты и их механические воздействия. Воздействия эти, в основном, косвенные.

1.4. Взаимодействие Е и А

Может иметь место объединенное действие электрической нагрузки и окружающей среды на тепловое старение, например, при электрическом процессе или образовании токопроводящих мостиков.

2. Электрическое старение

Известно, что на старение могут влиять все прочие факторы, включая радиацию. Ввиду разнообразия механизмов старения, а также возможных взаимодействий здесь приведены только отдельные выборочные примеры.

2.1. Взаимодействие Т

Вероятно, это самый изученный случай взаимодействия между влияющими факторами. Оно может иметь различные аспекты:

а) воздействие на электрическое старение: температура или тепловое старение могут коренным образом изменить интенсивность и напряжение частичных разрядов посредством обратимых или необратимых процессов (изменение конфигурации пустот вследствие разного теплового расширения проводников и изоляции, давления газа в пустотах, поверхностной проводимости и т. п.);

б) воздействие на характеристики устойчивости систем изоляции: разложение, вызванное частичными разрядами данной интенсивности, может изменяться в соответствии с характеристиками материала, зависящими от температуры.

Характер взаимодействия (прямые или косвенные) зависит от каждого конкретного случая.

2.2. Взаимодействие А

Хорошо известно, что для частичных разрядов большое значение имеет природа и давление окружающего газа. Диэлектрические характеристики систем изоляции также чувствительны к влаге и это может в значительной степени повлиять на электрическое старение. Конкретные атмосферные условия могут вызвать электрические процессы. Эти взаимодействия в большинстве случаев прямые.

2.3. Взаимодействие М

Механическое разложение, которое ведет к изменению конфигурации, может вызвать частичные разряды в новых пустотах или изменить интенсивность разрядов в существующих пустотах, когда меняется их форма. Это — косвенное взаимодействие.

2.4. Взаимодействие Т и М

Аналогично описанному выше термомеханические нагрузки могут сильно влиять на появление повреждений в изоляции с последующими частичными разрядами. Это — косвенное взаимодействие.

3. Старение под действием окружающей среды

Такое старение в большинстве случаев соотносится с процессами, связанными со скоростью реакций, как указано в разделах о тепловом старении.

Следует признать возрастающее влияние радиации на процессы старения систем изоляции. Может иметь место как прямое, так и косвенное взаимодействие в зависимости от характера радиации и ее интенсивности.

3.1. Взаимодействие Т

Температура вызывает, как правило, прямое взаимодействие. Но она может иметь и косвенное воздействие, доставляя активный агент к месту, где происходит реакция.

Образование всякого рода трещин может способствовать проникновению активных агентов вовнутрь. Например, это может сделать гидролиз преобладающей реакцией благодаря проникновению воды.

3.2. Взаимодействие Е

Наличие электрического поля даже при низком напряжении способно совершенно изменить процесс старения под воздействием окружающей среды, особенно, когда вступает в действие электролитический механизм. Это — прямое взаимодействие.

3.3. Взаимодействие М (или М+Т)

Механическое (и термомеханическое) старение может создать переходы, через которые агенты из окружающей среды (например, вода) могут проникнуть в новые места. Это — взаимодействие косвенное.

4. Механическое старение

4.1. Взаимодействие Т, Е, А и их сочетание

Взаимодействие с механическим старением особенно часто сочетается с воздействием температуры.

Одно лишь действие температуры способно вызвать механические (или термомеханические) нагрузки благодаря разнице расширения. Термические циклы могут вызвать значительное механическое старение. Старение тепловое, электрическое под действием окружающей среды может повлиять на механические свойства настолько, что изменится воздействие механического старения (например, нарастание хрупкости, пластификация). Наличие пыли тоже может вызвать истирание и износ внешних поверхностей. Это — пример косвенных взаимодействий.

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 792—1—85 «Функциональные испытания электроизоляционных систем на воздействие многих факторов. Часть 1. Методы испытаний» 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
2.3	—	ГОСТ 10518—88
2.3	МЭК 505—75	ГОСТ 27905.1—88

gost.e-ecolog.ru