ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 61646— 2013

МОДУЛИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ НАЗЕМНЫЕ

Порядок проведения испытаний для подтверждения соответствия функциональным характеристикам

IEC 61646:2008
Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval

(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0–2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ВНИИНМАШ) на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 039 «Энергосбережение, энергетическая эффективность, энергоменеджмент»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2013 г. № 1372-ст с 1 января 2015 г.

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 61646:2008 «Модули фотоэлектрические тонкопленочные для наземного применения. Квалификационная оценка конструкции и утверждение по образцу» (IEC 61646:2008 «Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval»).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5–2004 (пункт 3.5).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации (и действующие в этом качестве межгосударственные стандарты), сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

© Стандартинформ, 2014

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Отбор образцов 2
4 Маркировка 3
5 Последовательность проведения испытаний 3
6 Критерии оценки результатов испытаний 6
7 Основные видимые дефекты 7
8 Протокол испытаний 7
9 Модификации 8
10 Методы испытаний 8
10.1 Визуальный контроль 8
10.2 Определение максимальной мощности 8
10.3 Испытание изоляции 9
10.4 Измерение температурных коэффициентов 10
10.5 Измерение номинальной рабочей температуры (НРТ) модуля 12
10.6 Характеристики модуля при СУИ и НРТ 14
10.7 Характеристики модуля при низкой освещенности 15
10.8 Натурные испытания 15
10.9 Испытание на стойкость к частичному затенению 16
10.10 Испытание на стойкость к воздействию ультрафиолетового излучения 19
10.11 Термоциклирование 20
10.12 Термоциклирование при высокой влажности 21
10.13 Испытание на стойкость к влажности и высоким температурам 23
10.14 Испытание на надежность электрических выводов модуля 23
10.15 Испытание изоляции в условиях повышенной влажности 24
10.16 Испытание на стойкость к механической нагрузке 25
10.17 Испытания на стойкость к ударам града 26
10.18 Температурное испытание шунтирующего диода 28
10.19 Фотоиндуцированная деградация 31
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации (и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам) 32

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОДУЛИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ НАЗЕМНЫЕ

Порядок проведения испытаний для подтверждения соответствия функциональным характеристикам

Thin-film terrestrial photovoltaic modules — Procedure of tests for the prove of conformity of functional characteristics

Дата введения — 2015—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на наземные тонкопленочные фотоэлектрические модули (далее — модули), предназначенные для длительной работы вне помещения в умеренных климатических зонах, и устанавливает методы и порядок проведения испытаний для подтверждения соответствия функциональным характеристикам.

Схема испытаний, приведенная в настоящем стандарте, основана на требованиях МЭК 61215, касающегося подтверждения соответствия модулей из кристаллического кремния функциональным характеристикам.

Однако, в отличие от МЭК 61215, заключение об успешности испытания в настоящем стандарте основывается не на оценке «пройдено/не пройдено», а на выполнении критерия по минимальной мощности после завершения испытаний и стабилизации в результате фотоиндуцированной деградации. Такой подход позволяет исключить подготовительные операции, проводимые для точного измерения изменений, вызванных испытаниями.

Настоящий стандарт не распространяется на модули, используемые с концентраторами.

Цель схемы испытаний заключается в определении электрических и температурных характеристик модуля и демонстрации того, что модуль способен длительное время выдерживать воздействия внешних факторов, указанных в области применения, при условии непревышения требуемых затрат времени и средств на испытания. Фактический срок годности испытанных таким образом модулей будет зависеть от их конструкции, воздействия внешних факторов и системных условий их эксплуатации.

2 Нормативные ссылки

Для ссылок на стандарты, в обозначении которых указан год издания, необходимо использовать только указанные издания. Для ссылок на стандарты, в обозначении которых не указан год издания, необходимо использовать самое последнее издание нормативного ссылочного документа, включая любые поправки и изменения.

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

МЭК 60068-1 Испытание на воздействие внешних факторов. Часть 1: Общие положения и руководство (IEC 60068-1: Environmental testing — Part 1: General and guidance)

МЭК 60068-2-21 Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-21. Испытания. Испытание U. Прочность выводов и неразъемных крепежных устройств (IEC 60068-2-21: Environmental testing — Part 2-21: Tests — Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices)

Издание официальное

МЭК 60068-2-78:2001 Испытание на воздействие внешних факторов. Часть 2-78. Испытания. Испытание Cab: Влажное тепло, установившийся режим (IEC 60068-2-78:2001, Environmental testing — Part 2-78: Tests — Test Cab: Damp heat, steady state)

МЭК 60410 Правила и планы выборочного контроля по качественным признакам (IEC 60410, Sampling plans and procedures for inspection by attributes)

МЭК 60721-2-1 Классификация внешних воздействующих факторов. Часть 2-1. Природные внешние воздействующие факторы. Температура и влажность (IEC 60721-2-1, Classification of environmental conditions — Part 2-1: Environmental conditions appearing in nature — Temperature and humidity)

МЭК 60891 Приборы фотоэлектрические. Методики коррекции по температуре и освещенности результатов измерения вольт-амперной характеристики (IEC 60891, Proceures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic (PV) devices)

МЭК 60904-1:2006 Приборы фотоэлектрические. Часть 1. Измерение вольт-амперных характеристик фотоэлектрических приборов (IEC 60904-1:2006, Photovoltaic devices — Part 1: Measurements of photovoltaic current-voltage characteristics)

МЭК 60904-2 Приборы фотоэлектрические. Часть 2. Требования к эталонным солнечным элементам (IEC 60904-2, Photovoltaic devices — Part 2: Requirements for reference solar devices)

МЭК 60904-3 Приборы фотоэлектрические. Часть 3. Принципы измерения параметров наземных фотоэлектрических солнечных приборов со стандартными характеристиками спектральной плотности интенсивности падающего излучения (IEC 60904-3, Photovoltaic devices — Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data)

МЭК 60904-7 Приборы фотоэлектрические. Часть 7. Подсчет ошибки из-за спектрального несоответствия при испытаниях фотоэлектрических приборов (IEC 60904-7, Photovoltaic devices — Part 7: Computation of the spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic devices)

МЭК 60904-9 Приборы фотоэлектрические. Часть 9. Требования к рабочим характеристикам имитаторов солнечного излучения (IEC 60904-9, Photovoltaic devices — Part 9: Solar simulator performance requirements)

МЭК 60904-10 Приборы фотоэлектрические. Часть 10. Методы измерения линейности (IEC 60904-10, Photovoltaic devices — Part 10: Methods of linearity measurement)

МЭК 61215 Модули фотоэлектрические наземные из кристаллического кремния. Квалификационная оценка конструкции и утверждение типа (IEC 61215, Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval)

МЭК 61853 Фотоэлектрический модуль. Испытания рабочих характеристик и энергетической номинальной мощности (IEC 61853, Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating)

ИСО/МЭК 17025 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий (ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories).

3 Отбор образцов

Для функциональных испытаний используют случайную выборку восьми модулей (плюс запасные по желанию) из произведенной партии в соответствии с МЭК 60410. Модули должны быть изготовлены из определенных материалов и деталей согласно соответствующей конструкторской и технологической документации. Они должны быть проверены производителем, пройти контроль качества и процедуру приемки. Модули должны иметь полную комплектацию и быть сопровождены инструкциями производителя по эксплуатации, установке и подключению с указанием значения максимально допустимого напряжения в цепи соединенных модулей.

Если шунтирующие диоды в стандартном модуле недоступны, может быть подготовлен специальный образец для температурного испытания шунтирующего диода (см. 10.18). Шунтирующий диод должен быть установлен таким же образом, как если бы он находился в стандартном модуле, с подключенным к нему температурным датчиком в соответствии с требованиями 10.18.2. Данный образец не должен быть подвергнут иным испытаниям, указанным в схеме проведения испытаний.

Если предназначенные для испытания модули представляют собой прототипы нового изделия, а не промышленные образцы, это следует отразить в протоколе испытаний (см. раздел 8).

4 Маркировка

Маркировка модуля должна быть четкой и устойчивой, содержащей:

- наименование, логотип производителя;
- тип или номер модели;
- серийный номер;
- полярность входов и выходов и питающих проводов (разрешается ограничиваться только цветовой кодировкой);
- максимальное напряжение в цепи соединенных модулей, на которое рассчитан модуль;
- номинальное и минимальное значения максимальной выходной мощности при стандартных условиях испытаний (далее — СУИ) модуля, определенные производителем.

Минимальное значение максимальной выходной мощности соответствует наименьшему значению стабилизированной мощности, которую указал производитель для продукции данного типа (например, после любой фотоиндуцированной деградации или восстановления мощности).

Примечание — Если предназначенные для испытания модули представляют собой опытные, а не промышленные образцы, результаты данной схемы испытаний могут быть использованы для установления минимального предела номинальной мощности модуля.

Дата и место производства должны быть указаны на модуле или прослежены по серийному номеру.

5 Последовательность проведения испытаний

Модули должны быть подразделены на группы и подвергнуты функциональным испытаниям по схеме, определенной на рисунке 1, в указанном на ней порядке. Каждый блок на рисунке 1 относится к соответствующему подпункту в настоящем стандарте. Методы испытаний и степень воздействия внешних факторов, включая при необходимости начальные и окончательные измерения, детализированы в разделе 10. Однако в отношении испытаний, описанных в 10.2, 10.4, 10.6 и 10.7, следует отметить, что установленные в МЭК 60891 методы корректировки вольт-амперных характеристик к стандартным значениям температуры и освещенности применимы только в случае с модулями, обладающими характеристиками с линейной зависимостью. Для линейных систем следует использовать МЭК 60904-10. В случае модулей с нелинейными характеристиками испытания следует проводить при стабильном воздействии указанной освещенности ± 5 % и при стабильном воздействии указанной температуры ± 2 °С.

Примечание — В случае если при прохождении схемы испытаний, испытание, выполняемое в завершении определенного этапа, совпадает с начальным испытанием следующего этапа, данное испытание не нуждается в повторении.

До и после индивидуального испытания с диагностической целью может быть проведено промежуточное измерение максимальной мощности (10.2).

Примечание — Контрольный модуль должен храниться в соответствии с рекомендациями производителя.

Каждое отдельное испытание, выполненное независимо от последовательности испытаний, должно быть предварено начальными испытаниями, указанными в 10.1, 10.2 и 10.3.

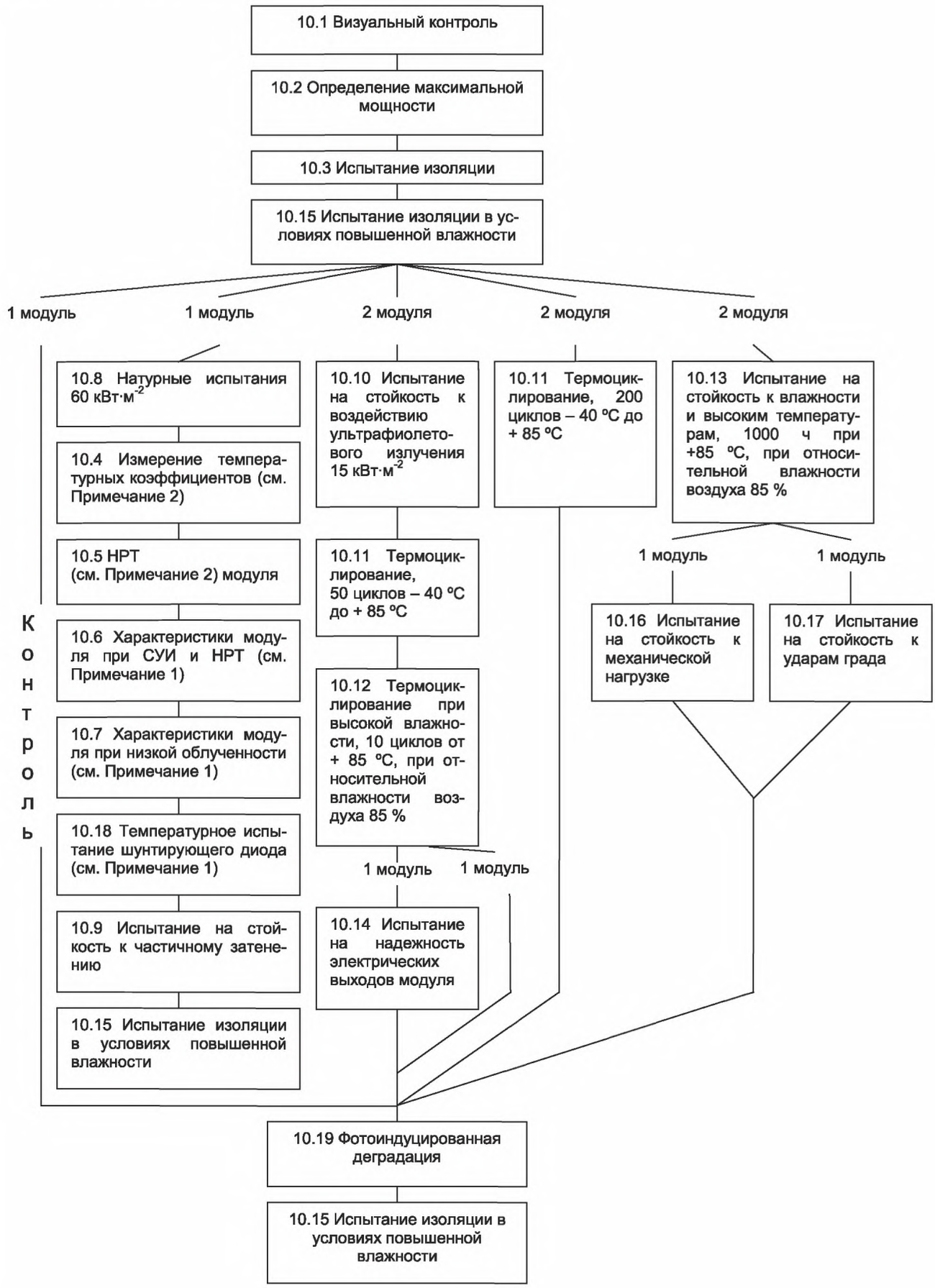
В ходе испытаний испытатель должен строго соблюдать инструкции производителя по обращению с оборудованием, его монтажу и подключению.

Испытания из 10.4, 10.5, 10.6 и 10.7 могут быть опущены, если для модулей этого типа были или будут предусмотрены последующие испытания в соответствии с МЭК 61853.

В зависимости от технологии изготовления модули могут иметь разные стабилизационные характеристики. Универсальный метод для стабилизации характеристик, применимый для всех модулей, разработать невозможно. Используемая в схеме процедура позволяет проверять модули «в состоянии поставки» и достичь стабилизационных условий перед завершающим испытанием.

Условия испытаний приведены в таблице 1.

Примечание — Условия испытаний в таблице 1 относятся к минимально допустимым для функциональных испытаний. При взаимном согласии испытательной лаборатории и производителя испытания могут быть проведены с увеличенной степенью воздействия внешних факторов.


10.1 Визуальный контроль
10.2 Определение максимальной мощности
10.3 Испытание изоляции
10.15 Испытание изоляции в условиях повышенной влажности
1 модуль
1 модуль
2 модуля
2 модуля
2 модуля
10.8 Натурные испытания 60 кВт·м-2
10.4 Измерение температурных коэффициентов (см. Примечание 2)
10.5 НРТ (см. Примечание 2) модуля
10.6 Характеристики модуля при СУИ и НРТ (см. Примечание 1)
10.7 Характеристики модуля при низкой облученности (см. Примечание 1)
10.18 Температурное испытание шунтирующего диода (см. Примечание 1)
10.9 Испытание на стойкость к частичному затенению
10.15 Испытание изоляции в условиях повышенной влажности
10.10 Испытание на стойкость к воздействию ультрафиолетового излучения 15 кВт·м-2
10.11 Термоциклирование, 50 циклов – 40 °С до + 85 °С
10.12 Термоциклирование при высокой влажности, 10 циклов от + 85 °С, при относительной влажности воздуха 85 %
1 модуль
1 модуль
10.14 Испытание на надежность электрических выходов модуля
10.11 Термоциклирование, 200 циклов – 40 °С до + 85 °С
10.13 Испытание на стойкость к влажности и высоким температурам, 1000 ч при +85 °С, при относительной влажности воздуха 85 %
1 модуль
1 модуль
10.16 Испытание на стойкость к механической нагрузке
10.17 Испытание на стойкость к ударам града
Контроль
10.19 Фотоиндуцированная деградация
10.15 Испытание изоляции в условиях повышенной влажности

Примечания:

1. Может быть опущено, если в будущем предусмотрено испытание по МЭК 61853.

2. В случае если модули не предназначены для открытого монтажа, НРТ может быть заменена средним равновесным значением температуры *p-n* перехода фотоэлемента в стандартных эталонных условиях воздействия внешних факторов, когда модуль установлен в соответствии с рекомендациями производителя.

3. Если шунтирующие диоды в стандартном модуле недоступны, может быть изготовлен специальный образец для температурного испытания шунтирующего диода (см. 10.18). Этот шунтирующий диод должен быть установлен таким же образом, как если бы он находился в стандартном модуле, с подключенным к нему температурным датчиком в соответствии с требованиями 10.18.2. Данный образец не должен быть подвергнут иным испытаниям, указанным в схеме проведения испытаний.

4. До и после индивидуального испытания с диагностической целью может быть проведено промежуточное измерение максимальной мощности (10.2). Если для этих измерений используют контрольный модуль, то следует удостовериться, что условия его хранения и применения соответствуют рекомендациям производителя.

Рисунок 1 — Последовательность проведения функциональных испытаний

Таблица 1 — Условия испытаний

Испытание	Наименование	Условия испытаний
10.1	Визуальный контроль	См. 10.1.2
10.2	Определение максимальной мощности	См. МЭК 60904-1
10.3	Испытание изоляции	Диэлектрическое сопротивление при 1000 В постоянного тока плюс удвоенное максимально допустимое напряжение в цепи соединенных модулей в течении 1 мин. Для модулей площадью менее 0,1 $м^2$ сопротивление изоляции должно быть не менее 400 МОм. Для модулей площадью более 0,1 $м^2$ произведение сопротивления изоляции на площадь модуля должно быть не менее 40 $МОм·м^2$. Измеряют при 500 В или при максимально допустимом напряжении в цепи соединенных модулей в зависимости от того, какое значение больше
10.4	Измерение температурных коэффициентов	См. 10.4. См. МЭК 60904-10 для справки
10.5	Измерение номинальной рабочей температуры (далее — НРТ) модуля	Общая солнечная освещенность: 800 $Вт·м^{-2}$. Температура окружающей среды: 20 °С. Скорость ветра: 1 $м·с^{-1}$
10.6	Характеристики модуля при СУИ и НРТ	Температура модуля: 25 °С и НРТ. Освещенность: 1000 и 800 $Вт·м^{-2}$ в соответствии с справочными данными спектральной освещенности, указанными в МЭК 60904-3
10.7	Характеристики модуля при низкой освещенности	Температура модуля: 25 °С. Освещенность: 200 $В·м^{-2}$ в соответствии с справочными данными спектральной освещенности, указанными в МЭК 60904-3
10.8	Натурные испытания	60 $кВт·ч·м^{-2}$ суммарной освещенности при подключенной резистивной нагрузке
10.9	Испытание на стойкость к частичному затенению	1 ч экспозиции при освещенности мощностью 1000 $Вт·м^{-2}$ при наихудших условиях частичного затенения

Окончание таблицы 1

Испытание	Наименование	Условия испытаний
10.10	Испытание на стойкость к воздействию ультрафиолетового излучения	15 кВт·м$^{-2}$ суммарной освещенности при ультрафиолетовом излучении при длине волны от 280 до 385 нм с 5 кВт·м$^{-2}$ освещенностью при ультрафиолетовом излучении при длине волны от 280 до 320 нм при резистивной нагрузке
10.11	Термоциклирование	50 и 200 циклов от — 40 °С до +85 °С
10.12	Термоциклирование при высокой влажности	10 циклов от + 85 °С до — 40 °С при относительной влажности воздуха 85 %
10.13	Испытание на стойкость к влажности и высоким температурам	1000 ч при +85 °С при относительной влажности воздуха 85 %
10.14	Испытание на надежность электрических выводов модуля	В соответствии с МЭК 60068-2-21
10.15	Испытание изоляции в условиях повышенной влажности	См. 10.15. Испытание проводят при напряжении 500 В или при максимально допустимом напряжении в цепи соединенных модулей в зависимости от того, какое значение больше, в течение 1 мин. Для модулей площадью менее 0,1 м^2 сопротивление установки не должно быть менее 400 МОм. Для модулей площадью более 0,1 м^2 произведение сопротивления изоляции на площадь модуля должно быть не менее 40 МОм·м^2
10.16	Испытание на стойкость к механической нагрузке	Три цикла по 2400 Па однородной нагрузки, действующей в течение 1 ч на переднюю и заднюю поверхности по очереди. Дополнительная нагрузка снегом 5400 Па во время последнего цикла нагрузки на переднюю часть
10.17	Испытания на стойкость к ударам града	Градины диаметром 25 мм при скорости 23,0 м·с$^{-1}$, направленные на 11 точек удара
10.18	Температурное испытание шунтирующего диода	1 ч при $I_{кз}$ и 75 °С 1 ч при 1,25 $I_{кз}$ и 75 °С
10.19	Фотоиндуцированная деградация	Выдержка при освещенности от 800 до 1000 Вт·м$^{-2}$ при подключенной резистивной нагрузке до стабилизации P_{max} в пределах ± 2 %

6 Критерии оценки результатов испытаний

Конструкцию модуля считают прошедшей функциональные испытания, если каждый испытанный модуль удовлетворяет следующим критериям:

a) после фотоиндуцированной деградации максимальная выходная мощность при СУИ составляет не менее 90 % минимального значения, указанного производителем (см. раздел 4).

Примечание — Критерий оценки «пройдено/не пройдено» должен учитывать лабораторную погрешность измерений. Например, если лаборатория устанавливает расширенную неопределенность в 2 сигма от измерений при СУИ равную ± 5 %, то величина максимальной мощности более чем 85,5 % от минимального указанного значения будет удовлетворять критериям успешного прохождения испытаний.

b) ни один из испытуемых модулей не продемонстрировал обрыва в электрической цепи в ходе испытаний;

c) отсутствуют признаки основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;

d) после испытаний требования к изоляции удовлетворены;

e) в начале и конце каждого испытания и после испытания на стойкость к влажности и высоким температурам требования к сопротивлению изоляции в условиях повышенной влажности удовлетворены;

f) особые требования к индивидуальным испытаниям выполнены.

Если два или более модуля не проходят испытания, то конструкцию признают не удовлетворяющей функциональным испытаниям. Если один из модулей не проходит какое-либо испытание, другие два модуля, удовлетворяющие требованиям раздела 3, должны быть подвергнуты соответствующим испытаниям схемы функциональных испытаний повторно. Если один или оба этих модуля также не проходят испытания, то конструкцию признают не удовлетворяющей критериям функциональным испытаний. Но если оба модуля успешно проходят схему испытаний, конструкцию считают удовлетворяющей критериям функциональных испытаний.

7 Основные видимые дефекты

При испытаниях для целей подтверждения соответствия функциональным характеристикам в качестве видимых дефектов принимают следующее:

a) сломанные, треснувшие или изношенные внешние поверхности, включая подложки для нанесения и сборки модуля, рамы и соединительные коробки;

b) погнутые или смещенные внешние поверхности, включая подложки для нанесения и сборки модуля, рамы и соединительные коробки, не позволяющие производить монтаж и/или препятствующие работе модуля;

c) полости или видимая коррозия в любом из тонкопленочных слоев активной цепи, составляющая более 10 % любого модуля;

d) пузыри или расслоение материала, находящиеся между любыми частями электрической цепи и торцами модуля;

e) нарушение механической целостности, не позволяющее производить монтаж и/или препятствующее работе модуля;

f) отсутствие маркировки (ярлыка) или невозможность прочесть информацию на ней.

8 Протокол испытаний

После проведения испытаний для подтверждения соответствия функциональным характеристикам испытательная лаборатория должна подготовить протокол испытаний, включающий в себя измеренные рабочие характеристики и подробное описание любых неисправностей и повторных испытаний. Протокол испытаний должен удовлетворять требованиям ИСО/МЭК 17025.

Каждый протокол испытаний должен содержать:

a) наименование протокола испытаний;

b) наименование и адрес испытательной лаборатории, а также место проведения испытаний;

c) уникальную идентификацию протокола испытаний, а также идентификацию на каждой странице, чтобы обеспечить признание страницы как части протокола испытаний;

d) наименование и адрес заказчика;

e) описание и маркировку объекта испытаний;

f) параметры и состояние объекта испытаний;

g) дату получения объекта, подлежащего испытаниям, если это существенно для достоверности и применения результатов, а также дату проведения испытаний;

h) указание метода испытаний, используемого испытательной лабораторией;

i) ссылку на метод отбора образцов, используемого испытательной лабораторией, если он имеет отношение к достоверности и применению результатов;

j) любые отклонения, дополнения или исключения из метода испытаний, а также любую другую информацию, относящуюся к определенному испытанию, например о внешних факторах;

k) измерения (в том числе повторные) и полученные результаты, подкрепленные при необходимости таблицами, графиками, диаграммами и фотографиями, включая температурные коэффициенты токов короткого замыкания, напряжений холостого хода, максимальной мощности; НРТ модуля, мощность при НРТ, СУИ при низкой освещенности, температуру максимально затененного модуля во время испытания на стойкость к частичному затенению, спектр источника ультрафиолетового излучения во время соответствующего испытания, минимальную мощность, зарегистрированную после вы-

держки на свету, и любые обнаруженные неисправности. Если потерю максимальной мощности регистрировали после каждого испытания, это также следует указать в протоколе испытаний;

l) при необходимости указание на оцененную неопределенность измерений;

m) имя, должность и подпись или эквивалентную идентификацию лица (лиц), утвердившего протокол испытаний, а также дату выдачи протокола испытаний;

n) при необходимости указание на то, что результаты относятся только к объектам (образцам), прошедшим испытания;

o) заявление о том, что протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения лаборатории.

Копия протокола испытаний должна храниться в испытательной лаборатории и у производителя.

9 Модификации

Любое изменение конструкции, материалов, компонентов или процесса производства может потребовать повторения некоторых этапов испытания или всего испытания в полном объеме.

10 Методы испытаний

10.1 Визуальный контроль

10.1.1 Цель

Целью данного испытания является обнаружение любых видимых неисправностей модуля.

10.1.2 Метод

Тщательно осматривают каждый модуль при освещении не менее 1000 лк с целью выявить:

- сломанные, треснувшие, погнутые, неровные или изношенные внешние поверхности;
- неисправные узлы и соединения;
- полости или видимую коррозию в любом из тонкопленочных слоев активной цепи;
- видимую коррозию внешних контактов, соединений и шин;
- повреждение клееных соединений;
- пузыри или расслоение материала, простирающееся между фотоэлементом и гранями модуля;
- липкую поверхность у полимерных материалов;
- неисправные электрические выводы, открытые токоведущие части;
- любые прочие условия, которые могут повлиять на рабочие характеристики.

При обнаружении дефекта модуля подготавливают замечания и/или фотографии каждого дефекта и его местоположения.

10.1.3 Требования

Особенности модуля, которые отличаются от основных видимых дефектов, указанных в разделе 7, не влияют на проведение дальнейших испытаний.

10.2 Определение максимальной мощности

10.2.1 Цель

Целью данного испытания является определение максимальной мощности модуля до и после различных испытаний на воздействие внешних факторов.

При проведении данного испытания необходимо учитывать воспроизводимость результатов испытания.

10.2.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) источник света (естественный солнечный свет или его имитатор класса ВВА или выше в соответствии с МЭК 60904-9);

b) эталонное фотоэлектрическое устройство в соответствии с МЭК 60904-2. При использовании имитатора солнечного света класса ВВА эталонным фотоэлектрическим устройством должен быть эталонный модуль такого же размера с выполненными по такой же технологии фотоэлементами для обеспечения соответствия спектральных характеристик;

c) конструкция для поддержки испытуемого образца и эталонного фотоэлектрического устройства в плоскости, перпендикулярной к лучам от источника света;

d) оборудование для измерения вольт-амперной характеристики в соответствии с МЭК 60904-1.

10.2.3 Метод

Измеряют вольт-амперную характеристику модуля в соответствии с МЭК 60904-1 при определенных условиях температуры и освещенности (рекомендованная температура модуля в диапазоне от 25 °С до 50 °С; рекомендованная освещенность модуля в диапазоне от 700 до 1100 $Вт \cdot м^{-2}$). При этом используют естественный источник солнечного света или его имитатор класса ВВА или выше в соответствии с требованиями МЭК 60904-9. В случае если модули предназначены для работы в условиях, отличающихся от указанных, вольт-амперные характеристики допускается измерять при температуре и освещенности, соответствующих предполагаемым в рабочих условиях.

Для модулей с линейной характеристикой корректировка температуры и освещенности может быть проведена в соответствии с МЭК 60891.

В случае модулей с нелинейной характеристикой измерения следует проводить при стабильном воздействии указанной освещенности ± 5 % и при стабильном воздействии указанной температуры ± 2 °С.

При проведении измерений максимальной мощности необходимо поддерживать стабильные рабочие условия (примерно равные значения температуры и освещенности) с целью минимизации погрешности измерений.

Примечание — Контрольный модуль может быть использован для проверки при каждом снятии показаний с испытуемых модулей.

10.3 Испытание изоляции

10.3.1 Цель

Целью данного испытания является определение прочности изоляция модуля между токопроводящими частями и корпусом или внешней средой.

10.3.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) источник постоянного напряжения с ограничителем тока, способный подавать напряжение значением 500 или 1000 В плюс двойной максимум напряжения модуля (указан на модуле — см. раздел 4) в соответствии с перечислением c) 10.3.4;

b) прибор для измерения сопротивления изоляции.

10.3.3 Условия испытания

Испытание следует проводить на модулях при температуре окружающей среды (см. МЭК 60068-1) и относительной влажности не более 75 %.

10.3.4 Метод

Метод проведения испытания заключается в следующем:

a) подключают закороченные выводы модуля к «плюсу» измерителя сопротивления изоляции постоянного тока с ограничителем тока;

b) подключают открытые металлические части модуля к «минусу» тестера. Если у модуля отсутствует корпус, или если корпус обладает низкой проводимостью, обертывают грани и заднюю часть модуля токопроводящей фольгой. Если модуль не имеет стеклянного поверхностного слоя, фольгой обертывают и переднюю часть модуля. Подключают к фольге «минус» тестера;

c) увеличивают напряжение тестера со скоростью не более 500 $В \cdot с^{-1}$ до максимума, эквивалентного 1000 В плюс двойное максимальное напряжение системы (т. е. максимум напряжения системы, указанный на модуле производителем, см. раздел 4). Если максимальное напряжение системы не превышает 50 В, подаваемое напряжение должно быть 500 В.

Поддерживают напряжение на таком уровне в течение 1 мин;

d) уменьшают подаваемое напряжение до нуля и замыкают выводы испытательного оборудования для разрядки напряжения, возникшего в модуле;

e) размыкают закороченные электрические выводы модуля;

f) увеличивают значения напряжения, подаваемого испытательным оборудованием со скоростью не более 500 $В \cdot с^{-1}$ до 500 В или до максимального значения напряжения системы для модуля, в зависимости от того, что больше. Поддерживают напряжение на таком уровне в течение 2 мин. Затем определяют сопротивление изоляции;

g) уменьшают подаваемое напряжение до нуля и замыкают выводы испытательного оборудования для разрядки напряжения, возникшего в модуле;

h) размыкают короткозамкнутые выводы и отключают испытательное оборудование от модуля.

10.3.5 Требования к результатам испытаний

Требования к результатам испытаний следующие:

- отсутствие пробоя или повреждения поверхности при выполнении перечисления c) 10.3.4;

- для модулей площадью менее 0,1 $м^2$ сопротивление изоляции должно быть не менее 400 МОм;

- для модулей площадью более 0,1 $м^2$ произведение сопротивления изоляции на площадь модуля должно быть не менее 40 МОм·$м^2$.

10.4 Измерение температурных коэффициентов

10.4.1 Цель

Целью данного испытания является определение температурных коэффициентов тока α, напряжения β и максимальной мощности δ с помощью измерений характеристик модуля. Определенные таким образом коэффициенты действительны для того значения освещенности, при котором проводили их измерение. Для линейных модулей они действительны также в интервале освещенности в пределах ± 30 % от данного уровня. Данный метод дополняет указанный в МЭК 60891 метод для измерения этих коэффициентов в типовом наборе одиночных фотоэлементов. При ссылке на температурные коэффициенты помимо результатов температурных испытаний должны быть указаны условия и значение освещенности.

10.4.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) источник света (естественный солнечный свет или его имитатор класса ВВВ или выше в соответствии с МЭК 60904-9);

b) эталонное фотоэлектрическое устройство, имеющее известные параметры зависимости тока короткого замыкания от освещенности, определенные калибровкой с помощью абсолютного радиометра в соответствии с МЭК 60904-2;

c) любое оборудование, необходимое для изменения температуры испытуемого модуля в заданном интервале;

d) конструкция для поддержки испытуемого модуля и эталонного фотоэлектрического устройства в плоскости, перпендикулярной к лучам от источника света;

e) оборудование для измерения вольт-амперной характеристики в соответствии с МЭК 60904-1.

10.4.3 Метод

Существует два возможных метода измерения температурных коэффициентов.

10.4.3.1 Метод измерения при естественном солнечном свете

Данный метод заключается в следующем:

a) измерения при естественном солнечном свете проводят лишь в том случае, когда:

- значение полной освещенности не менее верхней границы заданного интервала;

- кратковременные колебания освещенности, вызванные облачностью, дымкой или дымом, находятся в пределах ± 2 % от полной освещенности, измеренной эталонным фотоэлектрическим устройством;

- скорость ветра менее 2 $м·с^{-1}$;

b) устанавливают эталонное фотоэлектрическое устройство в одной плоскости с испытуемым модулем, чтобы оба они были перпендикулярны к прямым солнечным лучам с отклонением от перпендикулярности ± 5°. Подключают необходимые приборы.

Примечание — Измерения, описанные в подпункте c), проводят с максимальной оперативностью в течение нескольких часов того же дня для минимизации влияния изменений спектральных параметров. В противном случае может потребоваться спектральная коррекция;

c) если испытуемый модуль и эталонное фотоэлектрическое устройство укомплектованы регуляторами температуры, их устанавливают на требуемый уровень;

d) если регуляторы температуры не используют, закрывают испытуемый модуль и эталонное фотоэлектрическое устройство от солнца и выдерживают до тех пор, пока их температура не сравняется с температурой окружающей среды с точностью ± 1 °С, или позволяют испытуемому модулю стабилизировать температуру, или охлаждают его до точки ниже требуемой температуры для испытания, а затем позволяют модулю нагреться естественным путем. Эталонное фотоэлектрическое устройство также должно стабилизироваться до своей температуры равновесия с точностью ± 1 °С перед началом испытаний;

e) записывают вольт-амперную характеристику и температуру испытуемого модуля параллельно с записью тока короткого замыкания и температуры эталонного фотоэлектрического устройства при желаемых температурах. При необходимости проводят измерения сразу после удаления тени;

f) освещенность G_0 рассчитывают в соответствии с МЭК 60891 из измеренного тока $I_{кз}$ эталонного фотоэлектрического устройства и его калибровочного значения при I_{rc} СУИ. Следует учесть поправку на температуру эталонного фотоэлектрического устройства T_m с помощью определенного температурного коэффициента эталонного фотоэлектрического устройства α_{rc}:

$$G_0 = [1 — \alpha_{rc} (T_m — 25)] \cdot 1000\ I_{кз} / I_{rc}; \quad (1)$$

где α_{rc} — относительный температурный коэффициент, $°C^{-1}$ при 25 °С и 1000 $Вт \cdot м^{-2}$;

g) регулируют температуру посредством контроллера или попеременного освещения и затенения испытуемого модуля для достижения и поддерживания необходимой температуры. Или же испытуемый модуль может быть оставлен для естественного нагрева с записью данных методом перечисления d), выполняемым периодически во время нагревания;

h) убеждаются, что температура испытуемого модуля и эталонного фотоэлектрического устройства стабилизировалась и остается постоянной в интервале ± 1 °С и что освещенность, измеренная эталонным фотоэлектрическим устройством, остается постоянной в пределах ± 1 % во время регистрационного периода для каждого набора данных. Все данные берут при 1000 $Вт \cdot м^{-2}$ или приводят к этому уровню освещенности на основе МЭК 60891. Это преобразование может быть выполнено только в интервале освещенности, где характеристика модуля линейна в соответствии с определением в МЭК 60904-10;

i) повторяют шаги от d) до h). Температуры модуля должны быть такими, чтобы их значения были не менее 30 °С и чтобы они находились как минимум в четырех примерно одинаковых интервалах. При каждом из условий испытаний должно быть проведено не менее трех измерений.

10.4.3.2 Метод с имитатором солнечного света

Данный метод заключается в следующем:

a) определяют ток короткого замыкания модуля при заданной освещенности при комнатной температуре в соответствии с МЭК 60904-1;

b) устанавливают испытуемый модуль в оборудовании, используемом для изменения температуры. Подключают приборы;

c) настраивают освещение таким образом, чтобы испытуемый модуль выдал ток короткого замыкания, определенный в перечислении a);

d) нагревают или охлаждают модуль до требуемой температуры. Когда температура модуля станет соответствующей, измеряют $I_{кз}$, V_{xx} и пиковую мощность. Изменяют температуру модуля шагами примерно по 5 °С вверх от границы как минимум до 30 °С и повторяют измерения $I_{кз}$, V_{xx} и пиковой мощности.

Примечания:

1 Полная вольт-амперная характеристика может быть измерена при каждой температуре для определения температурных изменений в напряжении при пиковой мощности и в токе при пиковой мощности.

2 Следует учесть, что испытуемый модуль до начала измерений должен быть правильно выдержан в предварительных условиях.

10.4.3.3 Вычисление температурных коэффициентов

Температурные коэффициенты вычисляют следующие образом:

a) представляют значения $I_{кз}$, V_{xx} и P_{max} как функции от температуры и строят кривую через каждое значение данных по методу наименьших квадратов;

b) по методу наименьших квадратов строят прямые для тока, напряжения и P_{max}.

Вычисляют температурные коэффициенты α, β, δ и максимальную мощность для модуля P_{max}.

Примечания:

1 См. МЭК 60904-10 с целью определить, считать ли испытуемые модули устройствами с линейной характеристикой.

2 Температурные коэффициенты, измеренные по данному методу, действительны только для того уровня освещенности и спектра, при которых они были измерены. Относительные температурные коэффициенты, выраженные в процентах, могут быть найдены путем деления рассчитанных значений α, β и δ на значения тока, напряжения и пиковой мощности при 25 °С.

3 Поскольку фактор заполнения вольт-амперных характеристик модуля зависит от температуры, то недостаточно использовать произведение α и β в качестве температурного коэффициента максимальной мощности.

10.5 Измерение номинальной рабочей температуры (НРТ) модуля

10.5.1 Цель

Целью данного испытания является определение НРТ модуля.

10.5.2 Условия

НРТ модуля определяют как равновесную среднюю температуру *p-n* перехода в фотоэлементе при открытом монтаже и следующих стандартных условиях воздействий внешних факторов (далее — ВВФ):

- угол наклона — 45° наклона от горизонтали;
- полная освещенность — 800 Вт·м$^{-2}$;
- температура окружающей среды — 20 °С;
- скорость ветра — 1 мс$^{-1}$;
- электрическая нагрузка — отсутствует (холостой ход).

НРТ модуля может быть использована проектировщиком системы для представления сведений о температуре, при которой модуль будет работать в полевых условиях: это полезный параметр для сравнения работоспособности по-разному спроектированных модулей. Однако на реальную рабочую температуру оказывают влияние монтажная конструкция, освещенность, скорость ветра, температура окружающей среды и верхних слоев атмосферы, отражение и излучение от земли и окружающих объектов. Эти факторы следует принимать во внимание для точного расчета работоспособности.

Если модули не предназначены для открытого монтажа, этот метод может быть использован для определения уравновешенной средней температуры *p-n* перехода в фотоэлементе при стандартных условиях ВВФ, когда модуль установлен в соответствии с рекомендациями производителя.

10.5.3 Принцип

Данный метод основан на сборе фактических полученных данных при измерении значений температуры модуля при различных условиях ВВФ, включая стандартные эталонные условия ВВФ. Данные приводят таким образом, чтобы представить точную и повторяющуюся интерполяцию НРТ.

Температура *p-n* перехода фотоэлемента $T_{p\text{-}n}$, в первую очередь, — это функция температуры окружающей среды $T_{внеш}$, средней скорости ветра V и общей солнечной освещенности G, попадающей на активную поверхность модуля. Разность температур $T_{p\text{-}n}$ — $T_{внеш}$ в основном независима от температуры окружающей среды и линейно пропорциональна освещенности при значениях выше 400 Вт·м$^{-2}$. Метод требует построения графика зависимости $T_{p\text{-}n}$ — $T_{внеш}$ от G для периода благоприятных условий ветров. Предварительное значение НРТ определяют путем прибавления 20 °С к значению $T_{p\text{-}n}$ — $T_{внеш}$, интерполированному при ВВФ для освещенности 800 Вт·м$^{-2}$. В конце, в зависимости от средней температуры и скорости ветра во время периода испытаний, проводят коррекцию предварительного значения НРТ до уровня 20 °С и 1 м·с$^{-1}$.

10.5.4 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) открытый монтажный блок для крепления испытуемого модуля и пиранометр (см. 10.5.2). Монтажная конструкция должна быть спроектирована таким образом, чтобы минимизировать свое тепловое воздействие на модуль и не препятствовать свободной теплоотдаче с его передней и задней поверхностей.

Примечание — В случае если модули не предназначены для открытого монтажа, испытуемый модуль должен быть установлен в соответствии с рекомендациями производителя;

b) пиранометр, установленный в плоскости модуля (модулей) и в пределах 0,3 м от испытуемого модуля (цепи модулей);

c) приборы для измерения скорости ветра до 0,25 м·с$^{-1}$ с точностью ± 10 % или 0,2 м·с$^{-1}$, в зависимости от того, что больше, и направления ветра с точностью ± 10°, установленные примерно на 0,7 м выше верхней части модуля и в 1,2 м восточнее или западнее;

d) стационарный датчик температуры окружающей среды с инерционностью, соответствующей модулю, установленному в затененной защитной конструкции с хорошей вентиляцией вблизи датчиков ветра;

e) датчики температуры модуля, прикрепленные или приклеенные термочувствительным клеем к задним поверхностям двух фотоэлементов у середины каждого испытуемого модуля, или другое оборудование, необходимое для утвержденного МЭК метода измерения температуры модуля;

f) система получения данных с точностью измерения температуры ± 1 °С для записи следующих параметров с интервалами не более 5 с:

- освещенности;
- температуры окружающей среды;
- температуры модуля;
- скорости ветра;
- направления ветра.

10.5.5 Монтаж испытуемого модуля

Угол наклона: испытуемый модуль должен быть расположен таким образом, чтобы наклон составлял 45° ± 5° к горизонтали при обращенной к экватору передней стороне.

Высота: нижняя грань испытуемого модуля (модулей) должна быть не менее 0,6 м, чем горизонтальная поверхность или уровень земли.

Конфигурация: для имитации термальной границы между модулями в последовательности испытуемый модуль должен быть установлен в одной плоскости со свободной зоной не менее 0,6 м во все стороны. Для модулей, предназначенных для одиночного расположения и открытого монтажа, следует использовать черные алюминиевые пластины или другие модули, чтобы заполнить остающееся пустое пространство плоскости.

Окружающая среда: не должно быть препятствий, мешающих полному освещению испытуемого модуля в период времени с 8:00 ч и до 16:00 ч по местному времени. Земля вокруг модуля не должна иметь слишком высокую отражательную способность и должна быть плоской или идти под уклон во всех направлениях от испытательной установки. Трава и растительность прочих видов, черный асфальт или грязь приемлемы для местного окружающего пространства.

10.5.6 Метод

a) подготавливают оборудование и испытуемый модуль в соответствии с описанием в 10.5.4. Убеждаются, что к испытуемым модулям не подключена нагрузка;

b) в подходящий ясный и солнечный безветренный день строят зависимость температуры модуля от времени, температуры окружающей среды, освещенности, скорости и направления ветра;

c) учитывают любые данные, полученные при следующих условиях:

- освещенность ниже 400 $Вт \cdot м^{-2}$;
- данные, собранные в десятиминутном интервале после того, как значение освещенности изменилось более чем на 10 %;
- скорость ветра, не попадающую в интервал (1,0 ± 0,75) $м \cdot с^{-1}$;
- температуру окружающей среды, выходящую за границы интервала (20 ± 15) °С или изменяющуюся более чем на 5 °С;
- данные, собранные в десятиминутном интервале после порывов ветра со скоростью более 4 $м \cdot с^{-1}$;
- направление ветра, установленное в пределах ± 20° от восточного или западного направления;

d) на основе как минимум 10 подходящих точек измерений, охватывающих интервал значений освещенности не менее 300 $Вт \cdot м^{-2}$, при условии, что эти точки получены как до, так и после полудня, строят график $T_{р\text{-}п} — T_{внеш}$ как функцию от освещенности. Используют регрессионный анализ для интерполяции экспериментальных данных;

e) определяют значение $T_{р\text{-}п} — T_{внеш}$ при 800 $Вт \cdot м^{-2}$ и прибавляют 20 °С, чтобы получить предварительное значение НРТ;

f) рассчитывают среднюю температуру окружающей среды $T_{внеш}$ и среднюю скорость ветра V, связанную с соответствующими точками измерений, и определяют подходящую поправку по рисунку 2;

g) корректируют предварительную НРТ до 20 °С и 1 $м \cdot с^{-1}$. Эта сумма представляет собой НРТ модуля;

h) повторяют всю процедуру в другой день и находят среднее значение из двух НРТ, если они отличаются менее чем на 0,5 °С. Если они отличаются более чем на 0,5 °С, повторяют процедуру на третий день и находят среднее значение из трех НРТ.

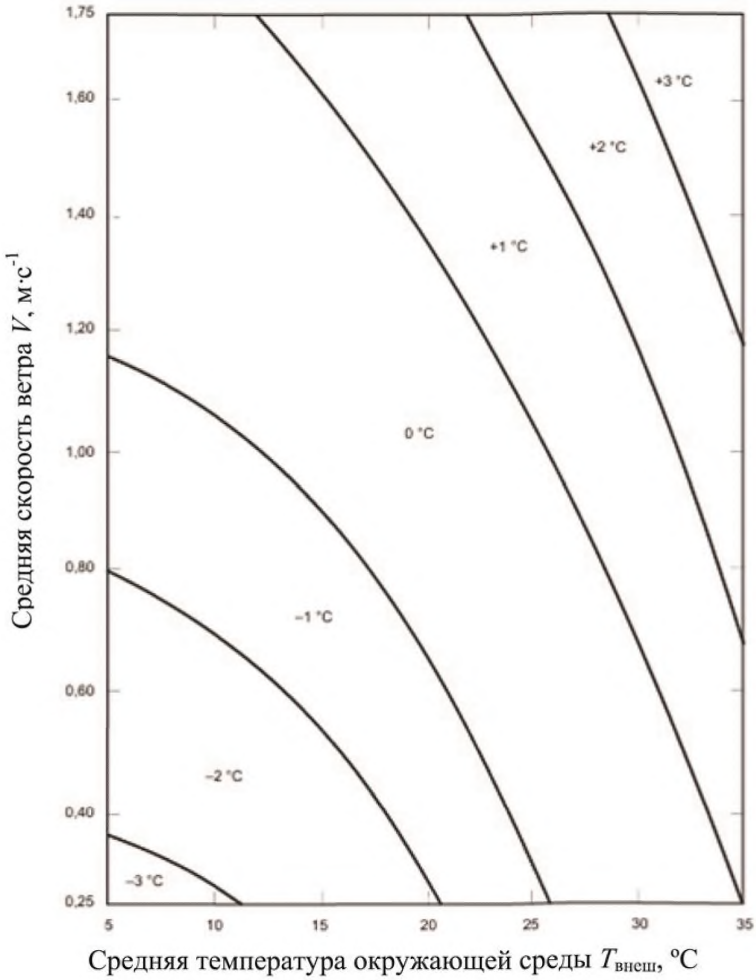


Рисунок 2 — Поправка НРТ

10.6 Характеристики модуля при СУИ и НРТ

10.6.1 Цель

Целью данного испытания является определение изменений электрических характеристик модуля, подключенного к нагрузке при СУИ (1000 Вт·м$^{-2}$, температура модуля 25 °С, при установленном в МЭК 60904-3 спектральном распределении солнечной освещенности) и при НРТ (освещенность 800 Вт·м$^{-2}$, при установленном в МЭК 60904-3 спектральном распределении солнечной освещенности).

10.6.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) источник света (естественный солнечный свет или его имитатор класса ВВВ или выше в соответствии с МЭК 60904-9);

b) эталонное фотоэлектрическое устройство в соответствии с МЭК 60904-2. При использовании имитатора солнечного света класса ВВВ эталонным фотоэлектрическим устройством должен быть эталонный модуль такого же размера с выполненными по такой же технологии фотоэлементами для соответствия спектральным характеристикам;

c) конструкция для поддержки испытуемого модуля и эталонного фотоэлектрического устройства в плоскости, перпендикулярной к лучам от источника света;

d) оборудование для измерения вольт-амперной характеристики в соответствии с разделом 4 МЭК 60904-1;

e) оборудование для изменения температуры испытуемого модуля до НРТ, измеренной в 10.5.

10.6.3 Метод

10.6.3.1 Стандартные условия испытаний (СУИ)

Поддерживают температуру модуля 25 °С и снимают его вольт-амперную характеристику при освещенности 1000 Вт·м$^{-2}$ (измеренной эталонным фотоэлектрическим устройством) в соответствии с МЭК 60904-1 с использованием естественного солнечного света или его имитатора класса ВВА или выше в соответствии с требованиями МЭК 60904-9.

10.6.3.2 Номинальная рабочая температура (НРТ) модуля

Равномерно нагрев модуль до НРТ, снимают его вольт-амперную характеристику при освещенности 800 Вт·м$^{-2}$ (измеренной эталонным фотоэлектрическим устройством) в соответствии с МЭК 60904-1 с использованием естественного солнечного света или его имитатора класса ВВА или выше в соответствии с требованиями МЭК 60904-9.

Если спектр эталонного фотоэлектрического устройства не совпадает со спектром испытуемого, используют МЭК 60904-7 для вычисления поправки спектрального несоответствия.

10.7 Характеристики модуля при низкой освещенности

10.7.1 Цель

Целью данного испытания является определение изменений электрических характеристик модуля, подключенного к нагрузке при температуре 25 °С и при освещенности 200 Вт·м$^{-2}$ (измеренной эталонным фотоэлектрическим устройством) в соответствии с МЭК 60904-1 с использованием естественного солнечного света или его имитатора класса ВВВ или выше в соответствии с требованиями МЭК 60904-9.

10.7.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) источник света (естественный солнечный свет или его имитатор класса ВВВ или выше в соответствии с МЭК 60904-9);

b) оборудование, необходимое для изменения освещенности до 200 Вт·м$^{-2}$ без влияния на относительное спектральное распределение солнечной освещенности и пространственную однородность в соответствии с МЭК 60904-10;

c) эталонное фотоэлектрическое устройство в соответствии с МЭК 60904-2;

d) конструкция для поддержки испытуемого модуля и эталонного фотоэлектрического устройства в плоскости, перпендикулярной к лучам от источника излучения;

e) техническое оборудование для измерения вольт-амперной характеристики в соответствии с МЭК 60904-1.

10.7.3 Метод

Определяют вольт-амперную характеристику модуля при температуре (25 ± 2) °С и освещенности 200 Вт·м$^{-2}$ (по измерениям эталонного фотоэлектрического устройства) в соответствии с МЭК 60904-1, с использованием естественного солнечного света или его имитатора класса ВВВ или выше в соответствии с МЭК 60904-9. Освещенность должна быть уменьшена до определенного уровня с помощью нейтральных фильтров или какого-либо другого способа, который не повлияет на спектральное распределение освещенности (см. МЭК 60904-10 относительно указаний для уменьшения освещенности без изменения спектрального распределения солнечной освещенности).

10.8 Натурные испытания

10.8.1 Цель

Целью данного испытания является проведение предварительной оценки способности модуля выдерживать внешние условия и выявить любые синергические разрушительные факторы, которые могут не быть определены в ходе лабораторных испытаний.

Примечание — Окончательное заключение о сроке годности модуля на основе прохождения данного испытания должно быть осторожным из-за короткого времени тестирования и разброса условий воздействия внешних факторов. Данное испытание должно быть использовано только как руководство или индикатор возникновения возможных проблем.

10.8.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) измеритель солнечного излучения с погрешностью измерения менее чем ± 50 Вт·м$^{-2}$;

b) средств для крепления модуля в соответствии с рекомендациями производителя в одной плоскости с измерителем солнечного излучения;

c) резистивные нагрузки с такими параметрами, чтобы при СУИ модули работали в режиме, близком к точке максимальной мощности.

10.8.3 Метод

Метод заключается в следующем:

a) присоединяют резистивные нагрузки для испытуемого модуля и устанавливают его под открытое небо в соответствии с рекомендациями производителя в одной плоскости с измерителем солнечного излучения. Любые рекомендованные производителем устройства, защищающие от последствий частичного затенения, должны быть установлены до начала испытания;

b) подвергают модуль освещению с суммарным значением 60 кВт·ч·м$^{-2}$ в соответствии с показаниями измерителя солнечного излучения при условиях, соответствующих общим климатическим условиям, определенным в МЭК 60721-2-1.

10.8.4 Окончательные измерения

Повторяют измерения 10.1, 10.2 и 10.3.

10.8.5 Требования

Требования следующие:

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- значение максимальной выходной мощности при СУИ должно превышать минимальное значение номинальной мощности, определенное производителем;
- сопротивление изоляции должно соответствовать требованиям к сопротивлению изоляции, установленным при начальных измерениях.

10.9 Испытание на стойкость к частичному затенению

10.9.1 Цель

Целью данного испытания является определение способности модуля выдерживать локальный перегрев, ведущий, например, к расплавлению пайки или нарушению герметизации. Такие дефекты могут быть вызваны неисправностью фотоэлементов, затенением или загрязнением.

10.9.2 Эффект местного перегрева

Местный перегрев происходит в модуле, когда его рабочий ток превышает уменьшенный ток короткого замыкания $I_{кз}$ затененного или неисправного фотоэлемента или их группы. В таких условиях в подвергшемся воздействию фотоэлементе или их группе возникает обратносмещенный переход и рассеивается мощность, что может вызвать перегрев.

Примечания:

1 Как правило, шунтирующие диоды не включаются в контур последовательно соединенных фотоэлементов. Поэтому реверсивное напряжение затененных фотоэлементов не ограничено, и напряжение модуля может стать причиной возникновения обратносмещенного перехода в группе фотоэлементов.

2 Краткосрочное затенение, произошедшее до начала испытаний, может негативно повлиять на характеристики модуля. Следует четко различать эффекты, наблюдаемые при исследованиях, направленных на определение наихудших условий, и испытаниях на устойчивость к частичному затенению. С этой целью регистрируют значения P_{max1}, P_{max2} и P_{max3}.

3 Несмотря на то, что абсолютную температуру и относительную потерю мощности не считают критериями для данного испытания, применяются наиболее жесткие условия частичного затенения, чтобы подтвердить безопасность конструкции.

Рисунок 3 иллюстрирует эффект местного перегрева в модуле, состоящем из последовательного соединения фотоэлементов, при полном затенении разного числа фотоэлементов. Значение рассеиваемой мощности равно произведению тока модуля и обратного напряжения в группе затененных фотоэлементов. Вне зависимости от уровня освещенности рассеивание максимальной мощности наблюдается в том случае, когда обратное напряжение в группе затененных фотоэлементов становится равным напряжению от оставшихся освещенными фотоэлементов модуля (наихудшее условие затенения).

Это тот случай, когда ток короткого замыкания затененного модуля становится равным току максимальной мощности незатененного модуля.

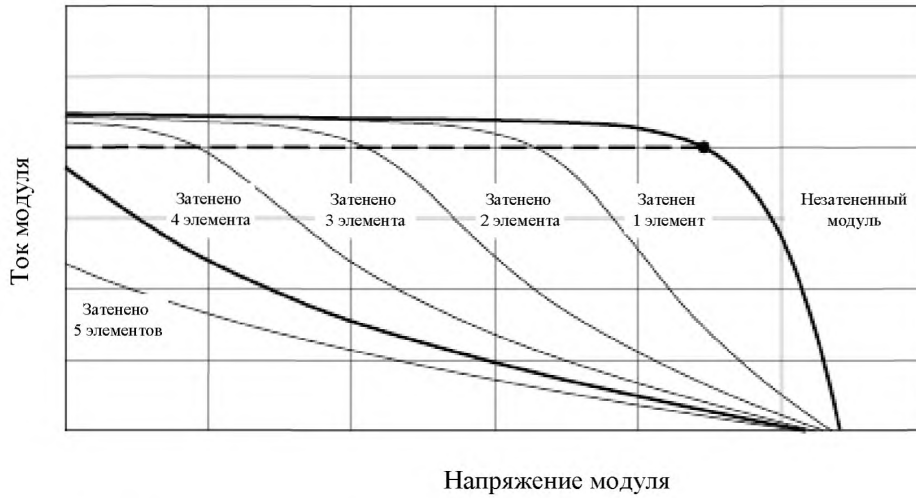


Рисунок 3 — Эффект местного перегрева в модулях с последовательно подключенными фотоэлементами. Худшее условие затенения — одновременное затенение четырех фотоэлементов.

10.9.3 Классификация соединений фотоэлементов

Фотоэлементы модуля соединяют одним из следующих способов.

Способ С: последовательное соединение всех фотоэлементов в одну цепь (наиболее распространенный случай). Шунтирующий диод может быть использован только между входом и выходом модуля.

Способ ПС: параллельно-сериесное соединение, т. е. параллельное соединение блоков, где каждый блок состоит из сериесного соединения определенного числа фотоэлементов. Шунтирующие диоды могут быть использованы для каждого блока.

Способ СП: сериесно-параллельное соединение, т. е. последовательное соединение блоков, где каждый блок состоит из параллельного соединения определенного числа фотоэлементов. Шунтирующие диоды могут быть использованы для каждого блока.

Каждая конфигурация требует определенного метода испытаний на устойчивость к частичному затенению.

10.9.4 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) источник света (естественный солнечный свет или его имитатор класса ССВ или выше в соответствии с МЭК 60904-9), обеспечивающий освещенность 1000 Вт·м$^{-2}$;

b) характериограф для снятия вольт-амперной характеристики модуля;

c) оборудование для измерения тока;

d) непрозрачные ширмы подходящего размера для полного затенения группы расположенных вместе испытуемых фотоэлементов;

e) датчик температуры.

10.9.5 Метод

Испытание на местные перегрев проводят с модулем, подвергнутым освещению от 800 до 1000 Вт·м$^{-2}$. Любые рекомендованные производителем устройства, защищающие от местного перегрева, должны быть установлены до начала испытания.

10.9.5.1 Способ С

Способ С заключается в следующем:

a) подвергают незатененный модуль освещению от источника света в диапазоне от 800 до 1000 Вт·м$^{-2}$. После стабилизации температуры измеряют вольт-амперную характеристику модуля и определяют диапазон тока, соответствующего максимальной мощности, где $P > 0{,}99\ P_{max1}$ (мощность модуля измеряют после предварительной стабилизации при заданных условиях);

b) замыкают выводы модуля и отслеживают ток короткого замыкания;

c) начиная с одной из граней модуля используют непрозрачную ширму для полного затенения одного фотоэлемента.

Перемещают ширму параллельно элементам, увеличивая площадь затенения модуля (число затененных фотоэлементов) до тех пор, пока значение тока короткого замыкания не уменьшится до области значений тока максимальной мощности в незатененном модуле. В таких условиях максимальная мощность рассеивается в выбранной группе фотоэлементов;

d) медленно перемещают непрозрачную ширму (того же размера, как и в перечислении c) над модулем и следят за током короткого замыкания модуля. Если при определенном положении значение тока короткого замыкания выходит за пределы интервала значений тока максимальной мощности незатененного модуля, начинают уменьшать площадь ширмы небольшими шагами до тех пор, пока ток максимальной мощности не восстановится. Во время этого процесса степень освещенности не должна изменяться более чем на ± 2 %;

e) окончательная ширина ширмы определяет минимальную площадь затенения, которая приводит к наихудшим условиям затенения. Эта затененная область должна быть использована для испытания на местный перегрев;

f) убирают ширму и визуально проверяют модуль;

Примечание — Операция обратного смещения *p-n* перехода в перечислении d) может привести к неисправности фотоэлемента, о чем свидетельствуют неравномерные пятна на поверхности модуля. Эти дефекты могут вызвать снижение максимальной выходной мощности;

g) вновь измеряют вольт-амперную характеристику модуля и определяют максимальную мощность P_{max2};

h) закрывают ширмой выбранный модуль и создают в нем короткое замыкание;

i) вновь подвергают модуль освещению от 800 до 1000 Вт·м$^{-2}$. Данное испытание должно быть проведено при температуре модуля в пределах (50 ± 10) °С. Отслеживают значение $I_{кз}$ и поддерживают модуль в режиме рассеивания максимальной мощности. При необходимости заново регулируют область затенения для поддержания $I_{кз}$ в пределах, указанных в перечислении a);

j) поддерживают эти условия в течение всего времени освещения 1 ч;

k) в конце этого испытания определяют самые горячие места на затененных фотоэлементах с помощью датчика температуры.

10.9.5.2 Способ ПС

Способ ПС заключается в следующем:

a) подвергают незатененный модуль освещению от источника света в диапазоне от 800 до 1000 Вт·м$^{-2}$. После стабилизации температуры измеряют вольт-амперную характеристику модуля и определяют максимальную мощность P_{max1};

b) замыкают выводы модуля и случайным образом выбирают не менее 10 % параллельных блоков в модуле. Затеняют увеличивающуюся область блока до тех пор, пока не будет определена максимальная температура с помощью термографа или других соответствующих средств;

c) вновь измеряют вольт-амперные характеристики модуля и определяют максимальную мощность P_{max2};

d) создают тень, как описано в перечислении b), и поддерживают эти условия в течение всего времени освещения 1 ч;

e) в конце испытания определяют самые горячие места на затененных фотоэлементах с помощью соответствующего термометра.

10.9.5.3 Способ СП

Способ СП заключается в следующем:

a) подвергают незатененный модуль освещению от источника света в диапазоне от 800 до 1000 Вт·м$^{-2}$. После стабилизации температуры измеряют вольт-амперные характеристики модуля и определяют область значений тока максимальной мощности ($I_{min} < I < I_{max}$), где $P > 0{,}99\ P_{max1}$;

b) затем вычисляют значения тока, соответствующего максимальной мощности $I(*)$ для применения по следующей формуле:

$$\frac{I_{min}}{P} + \frac{I_{кз} \cdot (P-1)}{P} < I(*) < \frac{I_{max}}{P + \frac{I_{кз} \cdot (P-1)}{P}}, \quad (2)$$

где P — число параллельных цепочек модуля;

c) замыкают выводы модуля и прослеживают ток короткого замыкания;

d) перемещают ширму параллельно фотоэлементам, увеличивая площадь затенения модуля (число затененных фотоэлементов) до тех пор, пока значение тока короткого замыкания не уменьшится до области значений тока, соответствующего максимальной мощности $I(*)$ в незатененном модуле. В таких условиях максимальная мощность рассеивается в выбранной группе фотоэлементов;

e) обрезают непрозрачную ширму до найденного экспериментальным путем размера;

f) если при определенном положении значение тока короткого замыкания выходит за пределы интервала значений тока, соответствующего максимальной мощности $I(*)$ незатененного модуля, начинают уменьшать площадь ширмы небольшими шагами до тех пор, пока ток максимальной мощности не восстановится. Во время этого процесса степень освещенности не должна изменяться более чем на ± 2 %;

g) вновь измеряют вольт-амперные характеристики модуля и определяют максимальную мощность P_{max2};

h) закрывают ширмой выбранный модуль и замыкают выводы модуля;

i) вновь подвергают модуль освещению от 800 до 1000 Вт·м$^{-2}$. Данное испытание должно быть проведено при температуре модуля в пределах (50 ± 10) °С. Отслеживают значение $I_{кз}$ и поддерживают модуль в режиме рассеивания максимальной мощности. При необходимости заново регулируют область затенения для поддержания $I_{кз}$ в пределах, указанных в перечислении a);

j) поддерживают эти условия в течение всего времени освещения 1 ч;

k) в конце испытания определяют самые горячие места на затененных фотоэлементах с помощью датчика температуры.

10.9.6 Окончательные измерения

Повторяют измерения 10.1 и 10.3.

Примечание — Мощность после испытания местного перегрева может быть измерена с диагностическими целями.

10.9.7 Требования

Требования следующие:

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- сопротивление изоляции должно соответствовать требованиям к сопротивлению изоляции, установленным при начальных измерениях.

Примечания:

1 Критерий «пройдено/не пройдено» не применяют при потере мощности в ходе испытания на устойчивость к частичному затенению.

2 Повреждение фотоэлемента, вызванное обратным смещением во время испытания на местный перегрев, не считают разрушением или коррозией тонкопленочных слоев.

10.10 Испытание на стойкость к воздействию ультрафиолетового излучения

10.10.1 Цель

Предварительная экспозиция модуля под ультрафиолетовым излучением перед термоциклированием и тестами на влажность и низкую температуру, с целью определить те материалы и места соединений, которые могут быть подвержены дефектам в результате ультрафиолетового излучения.

10.10.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) оборудование для термостатирования модуля во время его освещения ультрафиолетовым излучением. Оборудование должно быть способным поддерживать температуру модуля на уровне (60 ± 5) °С;

b) средства для измерения и регистрации температуры модуля с точностью ± 2 °С. Температурные датчики крепят к передней или задней поверхности фотоэлемента у середины испытуемого модуля. Если одновременно испытывают более одного модуля, то достаточно контролировать температуру одного выбранного модуля;

c) прибор, позволяющий измерять интенсивность УФ-излучения от источника у испытательной области модуля, в интервале длин волн от 280 до 320 нм и от 320 до 400 нм с погрешностью ± 15 %;

d) источник ультрафиолетового излучения, способный излучать с однородностью на уровне ± 15 % по поверхности для проведения испытания модуля (модулей) без существенного излучения с длиной волны менее 280 нм, а также способный обеспечить необходимое полное освещение в разных частях спектра в соответствии с определением в перечислении c) 11.10.3;

e) нагрузка, отрегулированная таким образом, чтобы при СУИ модуль работал в режиме около максимальной точки мощности.

10.10.3 Метод

Метод заключается в следующем:

a) используя калиброванный радиометр, измеряют излучение от источника ультрафиолетового излучения по поверхности, предназначенной для испытания модуля, причем диапазон длин волн должен быть в интервале от 280 до 400 нм. Излучение не должно превышать 250 $Вт \cdot м^{-2}$ (т. е. быть примерно в пять раз больше естественного излучения солнца) и сохранять однородность на уровне ± 15 % по поверхности, предназначенной для испытания;

b) подключают к модулю резистивную нагрузку и устанавливают модуль на поверхности, предназначенной для испытания модуля в месте, определенном в перечислении a), под прямым углом к ультрафиолетовым лучам. Удостоверяются, что температура модуля составляет (60 ± 5) °С;

c) подвергают модуль ультрафиолетовому суммарному освещению 15 $кВт \cdot ч \cdot м^{-2}$ в диапазоне длин волн между 280 и 400 нм, так чтобы от 3 % до 10 % общей энергии приходилось на диапазон между 280 и 320 нм. Поддерживают температуру в указанном диапазоне.

10.10.4 Окончательные измерения

Повторяют измерения 10.1 и 10.3.

10.10.5 Требования

Требования следующие:

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- сопротивление изоляции должно соответствовать требованиям к сопротивлению изоляции, установленным при начальных измерениях.

10.11 Термоциклирование

10.11.1 Цель

Определяют способность модуля выдерживать температурные изменения, усталостную изнашиваемость и другие факторы, вызываемые повторяемыми температурными изменениями.

10.11.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) климатическая камера с автоматическим контролем температуры, средствами вентиляции внутри и предусмотренной возможностью избегать конденсации влаги на модуле во время испытания, с возможностью подвергать один или более модуль циклическим изменениям температуры, приведенным на рисунке 4;

b) средства для монтажа или поддержки модуля в камере, обеспечивающие свободную циркуляцию окружающего воздуха. Теплопроводность креплений или удерживающих приспособлений должна быть низкой, так чтобы модули были теплоизолированными;

c) средства для измерения и регистрации температуры модуля с точностью ± 1 °С;

d) средства для контроля целостности внутреннего электрического контура каждого модуля во время испытания.

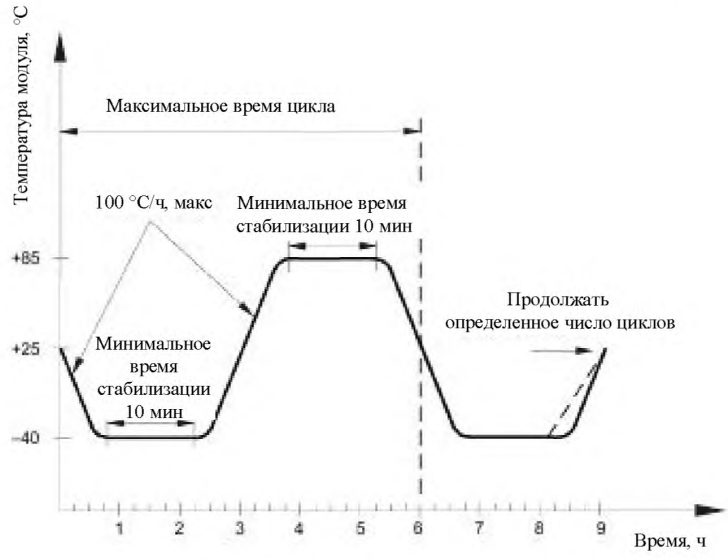


Рисунок 4 — Термоциклирование

10.11.3 Метод

Метод заключается в следующем:

a) устанавливают модуль при комнатной температуре в камеру;

b) подключают оборудование контроля температуры к температурному датчику. Температурные датчики должны быть установлены на передней или задней поверхности модуля у середины. Достаточно отслеживать температуру одного выбранного образца, если одновременно испытывают более одного модуля;

c) закрывают камеру и подвергают модуль циклам изменения температуры и влажности между температурами модуля в интервале от минус (40 ± 2) °С до плюс (85 ± 2) °С в соответствии с данными на рисунке 4. Скорость изменения температуры между нижним и верхним пределами не должна превышать 100 °С/ч, а температура модуля должна оставаться стабильной в каждом экстремуме в течение не менее чем 10 мин. Время цикла не должно превышать 6 ч. Число циклов должно соответствовать блокам на рисунке 1;

d) в процессе испытания регистрируют температуру модуля и следят за целостностью модуля.

10.11.4 Окончательные измерения

После минимального времени на восстановление 1 ч, повторяют испытания 10.1 и 10.3.

10.11.5 Требования

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- сопротивление изоляции должно соответствовать требованиям к сопротивлению изоляции, установленным при начальных измерениях;
- отсутствие обрывов контура во время испытания.

10.12 Термоциклирование при высокой влажности

10.12.1 Цель

Целью данного испытания является определение способности модуля выдерживать воздействия высоких температур и влажности, а затем минусовых температур. Данное испытание не представляет собой испытание на температурный шок.

10.12.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) климатическая камера с автоматическим контролем температуры и влажности, с предусмотренной возможностью подвергать один или более модуль циклическим изменениям влажности и низких температур, указанным на рисунке 5;

b) средства для монтажа или поддержки модуля в камере, с целью обеспечить свободную циркуляцию окружающего воздуха. Теплопроводность корпуса или подставки должна быть низкой, чтобы модуль оставался практически теплоизолированным;

c) средства для измерения и регистрации температуры с точностью ± 1 °С. (Достаточно отслеживать температуру одного выбранного образца, если испытывают более одного модуля);

d) средства для контроля целостности внутреннего электрического контура каждого модуля во время испытания.

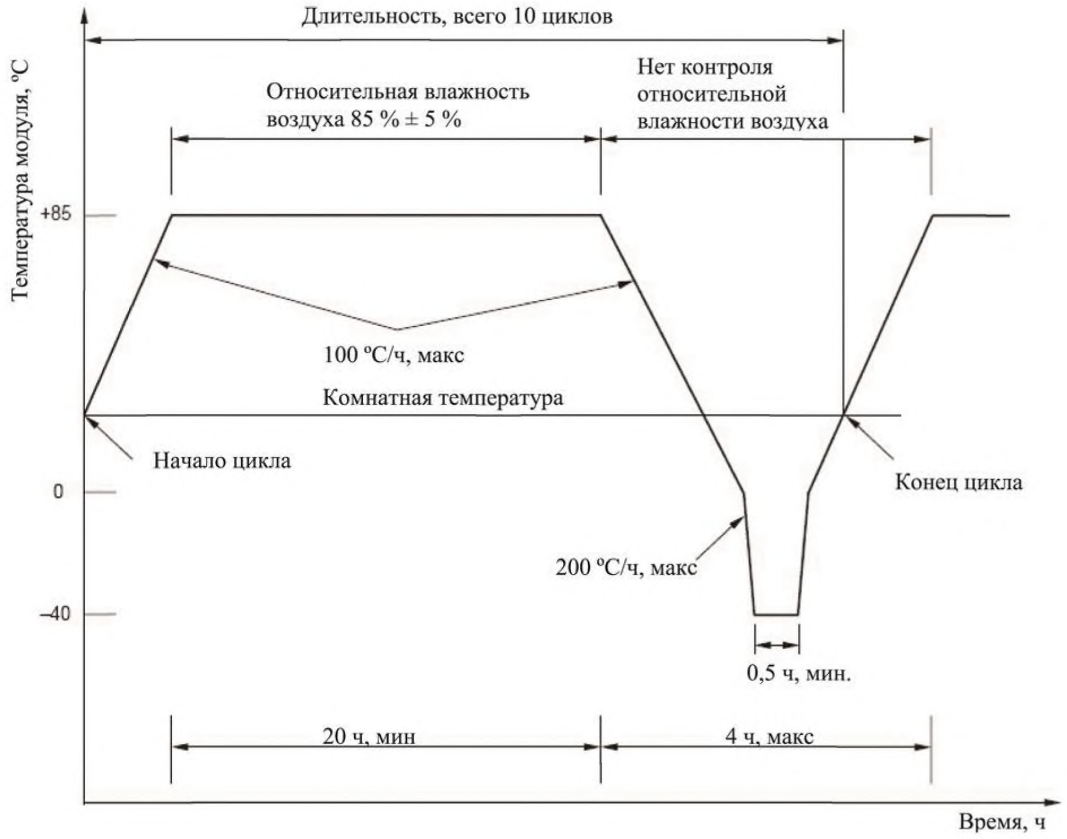


Рисунок 5 — Термоциклирование при высокой влажности

10.12.3 Метод

Метод заключается в следующем:

a) устанавливают подходящий температурный датчик на передней или задней поверхности модуля у середины;

b) устанавливают модуль при комнатной температуре в климатическую камеру;

c) подключают оборудование контроля температуры к температурному датчику;

d) после закрытия камеры подвергают модуль 10 полным циклам в соответствии с рисунком 5. Значения максимальной и минимальной температур должны находиться в пределах ± 2 °С от установленных уровней, а относительная влажность не должна отличаться более чем на ± 5 % от указанного значения при максимальной температуре (85 °С);

e) в процессе испытания регистрируют температуру модуля и следят за его целостностью.

10.12.4 Окончательные измерения

Повторяют измерения 10.1 и 10.3 в интервале от 2 до 4 ч после завершения испытания.

10.12.5 Требования

Требования следующие:

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- значение сопротивления изоляции должно совпадать со значениями, которые были зафиксированы при начальных измерениях;
- отсутствие обрывов контура во время испытания.

10.13 Испытание на стойкость к влажности и высоким температурам

10.13.1 Цель

Целью данного испытания является определение способности модуля противостоять долгосрочному воздействию проникающей влаги при нагреве.

10.13.2 Метод

Испытание проводят в соответствии с МЭК 60068-2-78 при выполнении следующих условий:

a) предварительные условия

После пребывания при комнатной температуре модуль помещают в камеру без предварительной подготовки;

b) условия проведения испытаний

Применяют следующие условия проведения испытаний:

- температура испытания: (85 ± 2) °С;
- относительная влажность: (85 ± 5) %;
- длительность испытания: 1000 ч.

10.13.3 Окончательные измерения

После времени восстановления между 2 и 4 ч повторяют измерения 10.3 и 10.15. Повторяют испытание 10.1.

10.13.4 Требования

Требования следующие:

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- сопротивление изоляции должно соответствовать требованиям к сопротивлению изоляции, установленным при начальных измерениях;
- испытание на ток утечки в условиях влажности должно удовлетворять требованиям, установленным для начальных измерений.

10.14 Испытание на надежность электрических выводов модуля

10.14.1 Цель

Целью данного испытания является определение стойкости электрических выводов, а также примыкающих к ним частей модуля, к таким воздействиям, которые вероятны в процессе сборки или перемещения.

10.14.2 Типы электрических выводов

Рассматривают три тип выводов:

- тип А: провод или свободный конец;
- тип В: паяные контакты, контактные болтики, винты и т. д.;
- тип С: разъем.

10.14.3 Метод

Предварительные условия: 1 ч при стандартных атмосферных условиях для измерений и испытаний.

10.14.3.1 Выводы типа А

Испытание на растяжение: в соответствии с описанием в МЭК 60068-2-21, испытание U_a, с выполнением следующих условий:

- должны быть испытаны все выводы;
- сила растяжения ни при каких условиях не должна превышать массу модуля.

Испытание на изгиб: в соответствии с описанием в МЭК 60068-2-21, испытание U_b, с выполнением следующих условий:

- должны быть испытаны все выходы;
- должны быть проведены 1 — 10 циклов (один цикл — это один изгиб в каждом из противоположных направлений).

10.14.3.2 Выводы типа В

Испытания на растяжение и изгиб:

a) для модулей с незащищенными выводами каждый вывод испытывают как выводы типа А;

b) если выводы заключены в защитный корпус, то применяют следующий метод.

Отрезок кабеля подходящей длины, размера и типа, рекомендованного производителем модуля, подключают к электрическому выводу внутри корпуса рекомендованным производителем способом. Кабель выпускают через отверстие кабельного ввода, обязательно использовав все предусмотренные зажимы. Крышка корпуса должна быть надежно закрыта. Затем компонент испытают по методу для выводов типа А.

Испытание на скручивание: в соответствии с описанием в МЭК 60068-2-21, испытание U_d, с выполнением следующих условий:

- должны быть испытаны все выводы;
- степень воздействия 1.

Гайки или винты должны иметь возможность к раскручиванию впоследствии, если только они специально не созданы для постоянного крепления.

10.14.3.3 Выводы типа С

Подходящей длины отрезок кабеля типоразмера, рекомендованного производителем модуля, подключают к выводу разъема, затем испытывают по методу для выводов типа А.

10.14.4 Окончательные измерения

Повторяют измерения 10.1 и 10.3.

10.14.5 Требования

Требования следующие:

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- сопротивление изоляции должно соответствовать требованиям к сопротивлению изоляции, установленным при начальных измерениях.

10.15 Испытание изоляции в условиях повышенной влажности

10.15.1 Цель

Целью данного испытания является оценка герметичности модуля в условиях работы при повышенной влажности. При проведении данного испытания удостоверяются, что влага от дождя, тумана, росы или растаявшего снега не попадет в активную часть электрической цепи модуля, где она может вызвать коррозию, неисправность заземления или создать угрозу безопасности.

10.15.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) неглубокий лоток или бак достаточного размера для помещения туда модуля с рамкой в плоском горизонтальном положении. В нем должна находиться раствор/вода для увлажнения поверхности модуля при испытании, удовлетворяющий(ая) следующим требованиям:

- удельное сопротивление: 3500 Ом·см или менее;
- температура: (22 ± 3) °С.

Глубина раствора/воды должна быть достаточна для покрытия всех поверхностей, кроме выводов соединительной коробки, не рассчитанных на погружение;

b) разбрызгиватель с таким же раствором/водой;

c) источник постоянного напряжения с ограничителем тока, способный подавать 500 В или максимальное допустимое напряжение в цепи соединенных модулей в зависимости от того, какое значение больше;

d) прибор для измерения сопротивления изоляции.

10.15.3 Метод

Метод заключается в следующем:

Примечание — Все соединения выполняют проводами рекомендованного типа. Следят, чтобы не возникли токи утечки из-за подключенного к модулю измерительного оборудования.

a) погружают модуль в емкость с требуемым раствором на глубину, достаточную для покрытия всех поверхностей, кроме выводов соединительной коробки, не рассчитанных на погружение. Кабельные выводы тщательно опрыскивают раствором. Если модуль оснащен штепсельным разъемом, он также должен быть погружен в жидкость во время испытания;

b) подключают закороченные выводы модуля к «плюсу» испытательного оборудования. «Минус» испытательного оборудования посредством подходящего металлического проводника соединяют с испытательным раствором;

c) увеличивают напряжение, подаваемое испытательным оборудованием, со скоростью не более 500 $В \cdot с^{-1}$ до 500 В или максимального напряжения системы для модуля (см. маркировка, раздел 4), в зависимости от того, что больше. Поддерживают напряжение на этом уровне в течение 1 мин. Затем определяют сопротивление изоляции;

d) уменьшают значение подаваемого напряжение до нуля и замыкают выводы испытательного оборудования для разрядки напряжения, возникшего в модуле.

Примечание — Убеждаются, что все смачивающие жидкости удалены с модулей перед проведением дополнительных испытаний.

10.15.4 Требования

Требования следующие:

- для модулей площадью менее 0,1 $м^2$ сопротивление изоляции должно быть не менее 400 МОм;
- для модулей площадью более 0,1 $м^2$ произведение сопротивления изоляции на площадь модуля должно быть не менее 40 $МОм \cdot м^2$.

10.16 Испытание на стойкость к механической нагрузке

10.16.1 Цель

Целью данного испытания является определение способности модуля противостоять воздействию ветра, снега, статической нагрузке или ледяной нагрузке.

10.16.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) жесткая испытательная рама, на которой модуль может быть закреплен передней стороной вверх или вниз. Испытательная рама должна позволять модулю свободно прогибаться во время действия нагрузки;

b) оборудование для контроля целостности электрической цепи модуля во время испытания;

c) подходящие грузы или средства давления, позволяющие прилагать механическую нагрузку постепенно и равномерно по поверхности.

10.16.3 Метод

Метод заключается в следующем:

a) подключают модуль таким образом, чтобы целостность электрической цепи позволить контролировать постоянно в течение всего испытания;

b) укрепляют модуль на жесткой раме в соответствии с рекомендациями производителя (при возможности нескольких вариантов используют наихудший, где расстояние между креплениями максимально);

c) на переднюю сторону модуля постепенно подают нагрузку, соответствующую 2400 Па, равномерно распределенную по поверхности модуля. Выдерживают под давлением в течение 1 ч;

d) не убирая модуль с жесткой рамы, прилагают такое же давление к задней стороне модуля;

e) повторяют действия по перечислениям c) и d) трижды.

Примечания:

1 Давление в 2400 Па соответствуют давлению ветра скоростью 130 $км \cdot ч^{-1}$ (приблизительно ± 800 Па) с коэффициентом надежности 3 для порывистых ветров. Если модуль должен выдерживать большие массы снега и льда, то механическую нагрузку на переднюю поверхность модуля следует увеличить с 2400 до 5400 Па.

2 Испытания давлением выше 2400 Па могут потребоваться, если модуль предполагается использовать в районах, где нагрузка от снега и льда превышает 2400 Па. Например, требования к снеговой нагрузке могут быть заимствованы из соответствующих национальных стандартов или из синоптических карт.

3 Если допустимы разные способы монтажа модуля, то испытания проводят по разным схемам, соответствующим предусмотренным способам монтажа.

10.16.4 Окончательные измерения

Повторяют испытания 10.1 и 10.3.

10.16.5 Требования

Требования следующие:

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- сопротивление изоляции должно соответствовать требованию к сопротивлению изоляции, установленному при начальных измерениях.

10.17 Испытания на стойкость к ударам града

10.17.1 Цель

Целью данного испытания является определение способности модуля выдерживать удары градин.

10.17.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) формы из подходящего материала для изготовления сферических ледяных градин требуемого диаметра. Стандартный диаметр должен быть 25 мм, но для определенных внешних условий может быть выбран любой другой диаметр, приведенный в таблице 2;

b) морозильная камера, обеспечивающая температуру внутри камеры минус (10 ± 5) °C;

c) контейнер для хранения градин при температуре минус (4 ± 2) °C;

d) пневматическая пушка, способная выстреливать градиной с определенной скоростью с погрешностью в пределах ±5 % и обеспечивать попадание градин в определенные области на поверхности модуля. Траектория полета градин от пушки до модуля может быть горизонтальной либо вертикальной или проходить под каким-либо промежуточным углом при условии выполнения требований к испытаниям;

e) жесткая рама для установки испытуемого модуля в соответствии с методом, рекомендованным производителем. При этом сторона удара должна быть перпендикулярна к траектории летящей градины;

f) весы для определения массы градин с точностью ± 2 %;

g) устройство для измерения скорости градины с точностью ± 2 %. Датчик скорости должен быть расположен на расстоянии не более 1 м от поверхности испытуемого модуля.

В качестве примера на рисунке 6 показана схема подходящего оборудования, включая горизонтальную пневматическую пушку, вертикальное крепление для модуля и устройство для измерения скорости, позволяющее измерять время, которое требуется градине для преодоления расстояния между двумя световыми лучами.

Таблица 2 — Массы градин и тестовые скорости

Диаметр, мм	Масса, г	Тестовая скорость, $м \cdot с^{-1}$	Диаметр, мм	Масса, г	Тестовая скорость, $м \cdot с^{-1}$
12,5	0,94	16,0	45	43,9	30,7
15	1,63	17,8	55	80,2	33,9
25	7,53	23,0	65	132,0	36,7
35	20,7	27,2	75	203,0	39,5

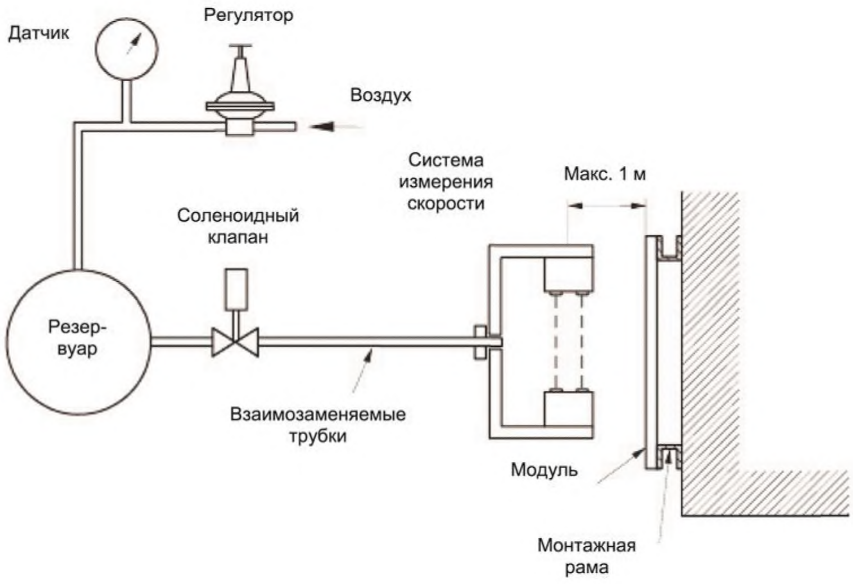


Рисунок 6 — Оборудование для испытания на устойчивость к ударам града

10.17.3 Метод

Метод заключается в следующем:

a) используя формы и морозильную камеру, изготовляют достаточное количество градин требуемого размера для испытаний, включая дополнительное количество градин для настройки пневматической пушки;

b) проверяют каждую градину на трещины, размер и массу. Годные градины должны удовлетворять следующим требованиям:

- отсутствуют трещины, видимые невооруженным глазом;
- диаметр градины в пределах ± 5 % требуемого;
- масса градины в пределах ± 5 % соответствующего номинального значения в таблице 2;

c) помещают градины в контейнер для хранения и выдержать их там;

d) убеждаются, что температура всех поверхностей пневматической пушки, которые могут иметь контакт с градинами, близка к комнатной;

e) проводят ряд пробных выстрелов по имитационной мишени в соответствии с перечислением g) (см. ниже) и регулируют пушку таким образом, чтобы скорость градины, измеренная датчиком скорости в соответствующем положении, оказалась в пределах ± 5 % соответствующей скорости градины в таблице 2;

f) устанавливают модуль с температурой, равной комнатной, на жесткую раму таким образом, чтобы поверхность, подвергаемая удару, была перпендикулярна к траектории градины;

g) достают градину из контейнера для хранения и помещают в пушку. Прицеливают в первое место воздействия, указанное в таблице 3, и производят выстрел. Время между изъятием градины из контейнера и попаданием по модулю не должно превышать 60 с;

h) проверяют места попаданий градин на наличие признаков повреждений и записывают о появлении любых видимых следов воздействий. Погрешности измерений координат до 10 мм от указанных мест считают допустимыми;

i) если модуль не имеет повреждений, повторяют действия по перечислениям g) и h) для всех остальных областей удара градин описанных в таблице 3 в соответствии с изображениями на рисунке 7.

Т а б л и ц а 3 — Места воздействий

Номер удара	Расположение
1	Угол окна модуля, не более 50 мм от рамы
2	Край модуля, не более 12 мм от рамы
3, 4	Над краем активной части модуля
5, 6	Над электрическим контуром около активной части модуля
7, 8	Рядом с точками крепления модуля на активной части модуля
9, 10	В центре электрического контура, как можно дальше от узлов крепления
11	Любая точка, которая может оказаться особенно подверженной действию града

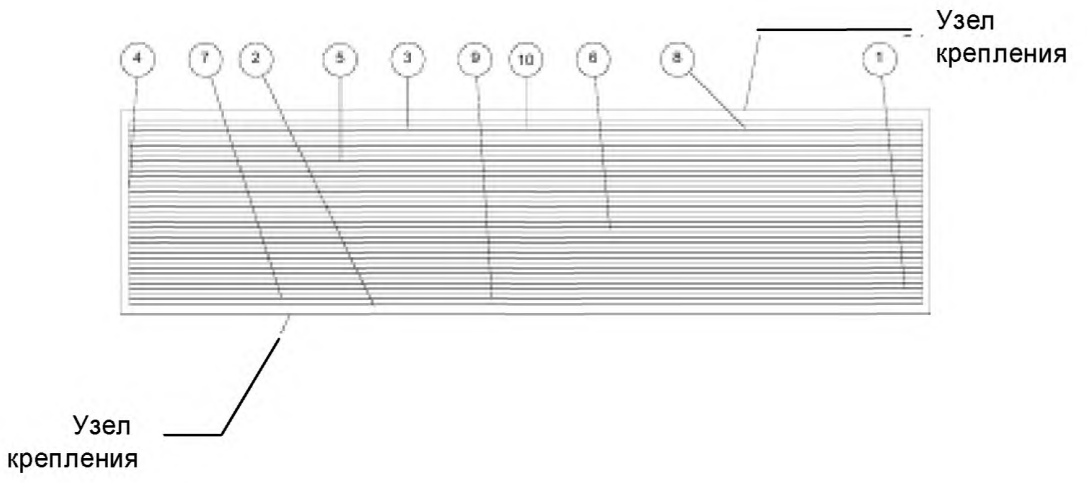


Рисунок 7 — Места воздействий

10.17.4 Окончательные измерения

Повторяют испытания 10.1 и 10.3.

10.17.5 Требования

Требования следующие:

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- сопротивление изоляции должно соответствовать тем же требованиям что и при начальных измерениях.

10.18 Температурное испытание шунтирующего диода

10.18.1 Цель

Целью данного испытания является определение правильности теплового расчета и относительной надежности шунтирующих диодов, используемых для ограничения отрицательных последствий частичных затемнений.

Если шунтирующие диоды не доступны для испытаний в модуле данного типа, то для испытания может быть подготовлен специальный образец. Данный образец должен быть изготовлен таким образом, чтобы обеспечить такие же температурные условия для диода, как и в стандартном промыш-

ленном модуле при испытаниях, и не обязан быть рабочим модулем. Однако он должен предоставлять возможность измерять температуру диода в ходе испытаний. Тогда испытание проводят обычным способом. Данный специальный образец должен быть использован только для температурного испытания шунтирующего диода, и не должен быть подвергнут иным испытаниям, указанным в схеме проведения испытаний.

10.18.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) средства для нагрева модуля до температуры плюс (75 ± 5) °С;

b) средства для измерения и регистрации температуры модуля с точностью ± 1 °С;

c) средства для измерения температуры любых шунтирующих диодов, поставляемых вместе с модулем.

Измерение температуры диода может быть проведено напрямую с помощью температурного сенсора или путем измерения температурного коэффициента падения напряжения через диоды. Следует минимизировать любые изменения свойств диода или схем его теплообмена;

d) средства для измерения напряжения на шунтирующих диодах с точностью 0,2 %;

e) средства для подачи тока значением, равным 1,25 значения тока короткого замыкания модуля, измеренного при СУИ во время испытания, и средства для контроля тока в модуле во время испытания.

10.18.3 Метод 1

Метод 1 заключается в следующем:

a) электрически замыкают любые блокирующие диоды в модуле;

b) определяют номинальный ток короткого замыкания модуля при СУИ, исходя из маркировки или инструкции;

c) измеряют температуру и напряжение шунтирующих диодов во время испытания;

d) подсоединяют провода минимально допустимого производителем сечения к электрическим выводам модуля. Действуют в соответствии с рекомендациями производителя для монтажа выводов и заменяют крышку соединительной коробки.

Примечание — Некоторые модули имеют перекрывающие контуры шунтирующих диодов. В таком случае может потребоваться вставить перемычку, чтобы весь ток шел через один шунтирующий диод.

e) нагревают модуль до температуры плюс (75 ± 5) °С. Подают на модуль ток, равный току короткого замыкания модуля, измеренный при СУИ с точностью ± 2 %. Через 1 ч измеряют температуру и напряжение каждого шунтирующего диода;

f) используя предоставленную производителем диода информацию, вычисляют температуру *p-n* перехода по измеренной температуре корпуса и мощности, рассеянной диодом, по следующей формуле:

$$T_{p\text{-}n} = T_{корп} + R_{THjc} \cdot V_D \cdot I_D, \quad (3)$$

где $T_{p\text{-}n}$ — температура *p-n* перехода диода;

$T_{корп}$ — температура корпуса диода;

R_{THjc} — предоставленное производителем значение отношения температуры *p-n* перехода к температуре корпуса;

V_D — напряжение диода;

I_D — ток диода.

Примечание — Если модуль содержит теплоотвод, специально спроектированный для понижения рабочей температуры диода, данное испытание допускается проводить при температуре, которую достигает теплоотвод при условиях 1000 Вт·м–2, (43 ± 3) °С окружающей температуры и в отсутствие ветра до 75 °С;

g) увеличивают значение подаваемого тока до 1,25 значения тока короткого замыкания модуля, измеренного при СУИ, поддерживая температуру модуля (75 ± 5) °С. Поддерживают подачу тока в течение 1 ч;

h) удостоверяются, что диод по-прежнему находится в рабочем состоянии.

Примечание — Работоспособность диода может быть удостоверена последующим испытанием на местный перегрев (10.9).

10.18.4 Метод 2

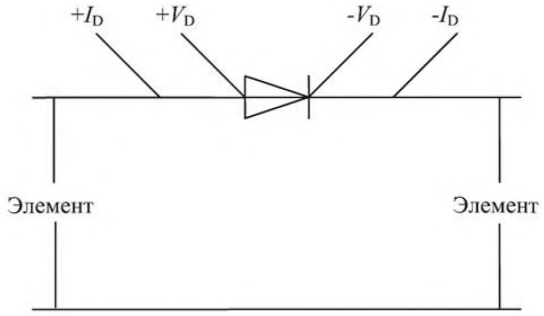
Метод 2 заключается в следующем:

a) электрически замыкают любые блокирующие диоды в модуле;

b) определяют ток короткого замыкания модуля при СУИ исходя из маркировки или инструкции;

c) подключают провод к V_D и I_D к обоим контактам диода, как показано на рисунке 8;

d) рекомендуется, чтобы эти подключения были выполнены производителем модуля.



Примечание — Питающий провод не должен вызывать рассеяние тепла от коробки выводов.

Рисунок 8 — Температурное испытание шунтирующего диода

e) помещают модуль в камеру с температурой до (30 ± 2) °C до тех пор, пока температура модуля не стабилизируется;

f) подают импульсный ток (импульс 1 мс), равный току короткого замыкания модуля при СУИ, измеряют прямое напряжение диода V_{D1};

g) тем же способом измеряют V_{D2} при (50 ± 2) °C;

h) тем же способом измеряют V_{D3} при (70 ± 2) °C;

i) тем же способом измеряют V_{D4} при (90 ± 2) °C;

j) затем получают зависимость V_D от значений $T_{p\text{-}n}$ по методу наименьших квадратов для V_{D1}, V_{D2}, V_{D3} и V_{D4}.

Примечание — Эта зависимость V_D от $T_{p\text{-}n}$ может быть предоставлена производителем диода вместе с сертификатом;

k) нагревают модуль до температуры плюс (75 ± 5) °C. Подают на модуль ток, равный току короткого замыкания модуля, измеренному при СУИ ± 2 %. Через 1 ч измеряют прямое напряжение каждого диода;

l) используя зависимость V_D от $T_{p\text{-}n}$, приведенную в перечислении j), получают $T_{p\text{-}n}$ диода во время испытания в перечислении k);

m) увеличивают значение подаваемого тока до 1,25 значения тока короткого замыкания модуля, измеренного при СУИ, поддерживая температуру модуля на уровне (75 ± 5) °C;

n) поддерживают подачу тока в течение 1 ч;

o) удостоверяются, что после окончания испытаний диод все еще находится в рабочем состоянии.

10.18.5 Окончательные измерения

Повторяют измерения 10.1 и 10.3.

10.18.6 Требования

Требования следующие:

- температура *p-n* перехода диода, определенная в перечислении f) 10.18.3 или в перечислении l) 10.18.4, не должна превышать указанную производителем максимальную температуру *p-n* перехода диода, определенную «для продолжительной работы»;

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- значение сопротивления изоляции должно совпадать со значениями, которые были зафиксированы при начальных измерениях;
- диод должен все еще функционировать в этом качестве после завершения испытания.

10.19 Фотоиндуцированная деградация

10.19.1 Цель

Целью данного испытания является стабилизация электрических характеристик модулей с помощью солнечного света или посредством его имитатора.

10.19.2 Оборудование

Требуется следующее оборудование:

a) естественный солнечный свет или его имитатор класса ССС в соответствии с МЭК 60904-9;

b) эталонный измеритель суммарной мощности солнечного излучения;

c) средства для монтажа модулей в соответствии с рекомендациями производителя в одной плоскости с эталонным фотоэлектрическим устройством;

d) средства для измерения температуры модуля с точностью ± 1 °С;

e) резистивные нагрузки с такими параметрами, чтобы при СУИ модули работали в режиме, близком к точке максимальной мощности.

10.19.3 Метод

Метод заключается в следующем:

a) подсоединяют резистивные нагрузки к модулям и устанавливают модули в соответствии с рекомендациями производителя вместе с эталонным измерителем на испытательной поверхности имитатора солнечного света;

b) при использовании имитатора солнечного света используют эталонный фотоэлектрическое устройство для установки значения освещенности между 600 и 1000 Вт·м$^{-2}$. Записывают значение освещенности;

c) во время работы имитатора температуры модулей должны оставаться в пределах (50 ± 10) °С;

d) подвергают каждый модуль освещению до тех пор, пока значение его максимальной мощности не стабилизируется. Стабилизация наступает, когда в течение двух последовательных периодов с суммарной плотностью энергии освещения минимум 43 кВт·м$^{-2}$ для каждого периода и при условии, что температура находилась между 40 °С и 60 °С, измеренные значения мощности удовлетворяют следующим критериям: $(P_{max} — P_{min})/P_{среднее} < 2$ %. Все промежуточные измерения максимальной мощности должны быть выполнены при любой подходящей для модуля температуре, воспроизведенной в пределах ± 2 °С;

e) фиксируют освещенность, при которой достигнута стабилизация.

10.19.4 Окончательные измерения

Повторяют испытания 10.1, 10.3 и 10.6 (работа при СУИ).

10.19.5 Требования

Требования следующее:

- отсутствие признаков основных видимых дефектов, указанных в разделе 7;
- значение сопротивления изоляции должно совпадать со значениями, которые были зафиксированы при начальных измерениях;
- после окончательной выдержки при освещении максимальная выходная мощность при СУИ должна быть не менее 90 % минимального значения в соответствии с рекомендациями производителя в разделе 4 (см. пункт 6.).

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации (и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам)

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60068-1	—	*
МЭК 60068-2-21	—	*
МЭК 60068-2-78:2001	IDT	ГОСТ Р МЭК 60068-2-78–2009 Испытания на воздействия внешних факторов. Часть 2-78. Испытания. Испытание Cab: Влажное тепло, постоянный режим
МЭК 60410	—	*
МЭК 60721-2-1	—	*
МЭК 60891	—	*
МЭК 60904-1:2006	—	*
МЭК 60904-2	MOD	ГОСТ Р 50705-94 (МЭК 904-2-89) Фотоэлектрические приборы. Часть 2. Требования к эталонным солнечным элементам
МЭК 60904-3	—	*
МЭК 60904-7	—	*
МЭК 60904-9	—	*
МЭК 60904-10	IDT	ГОСТ Р МЭК 60904-10–2013 Приборы фотоэлектрические. Часть 10. Методы измерения линейности
МЭК 61215	—	*
ИСО/МЭК 17025	IDT	ГОСТ ИСО/МЭК 17025–2009 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты.

УДК 697.329:006.354 ОКС 27.160

Ключевые слова: наземные тонкопленочные фотоэлектрические модули, маркировка, требования к испытаниям, методы испытаний

Подписано в печать 02.10.2014. Формат 60x84⅛.
Усл. печ. л. 4,88. Тираж 32 экз. Зак. 4580

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»,
123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru