МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
35322.2—
2025

МОДУЛИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Оценка соответствия техническим требованиям

Часть 2

Методы испытаний

(IEC 61215-2:2021, NEQ)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «ВИЭСХ-ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ» (ООО «ВИЭСХ-ВИЭ»)

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 октября 2025 г. № 190-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 октября 2025 г. № 1314-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 35322.2—2025 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 10 декабря 2025 г.

5 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта IEC 61215-2:2021 «Модули фотоэлектрические наземные. Оценка соответствия техническим требованиям. Часть 2. Методы испытаний» [«Terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval — Part 2: Test procedures», NEQ]

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© IEC, 2021
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

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 2
3 Стабилизация 3
3.1 Общие положения 3
3.2 Критерий завершения стабилизации 3
3.3 Стабилизация освещением 3
3.4 Альтернативные методы стабилизации 5
3.5 Начальная стабилизация 7
3.6 Конечная стабилизация 7
4 Испытания 7
4.1 Визуальный контроль 7
4.2 Измерение вольт-амперных характеристик 8
4.3 Измерение сопротивления изоляции 12
4.4 Определение температурных коэффициентов 14
4.5 Испытание на комплексное воздействие факторов окружающей среды в натурных условиях 15
4.6 Испытание на стойкость к местному перегреву 16
4.7 Испытание на воздействие ультрафиолетового излучения 27
4.8 Термоциклирование 29
4.9 Термоциклирование при высокой влажности 32
4.10 Испытание на воздействие высокой температуры при высокой влажности 35
4.11 Проверка прочности внешних соединений 37
4.12 Испытание изоляции на влагостойкость 38
4.13 Испытание на воздействие статической механической нагрузки 40
4.14 Испытание на стойкость к ударам града 42
4.15 Испытания шунтирующих/блокирующих диодов 46
4.16 Испытание маркировки на стойкость к истиранию 52
4.17 Испытание на воздействие циклической (динамической) механической нагрузки 52
4.18 Испытание на деградацию, вызванную высоким напряжением 56
4.19 Испытание на изгиб 60
Приложение А (справочное) Обозначения методов испытаний плоских наземных фотоэлектрических модулей, принятые в Международной электротехнической комиссии 61
Приложение Б (справочное) Нормативные условия испытаний фотоэлектрического оборудования для определения выходных характеристик постоянного тока 63
Приложение В (обязательное) Местный перегрев в фотоэлектрических модулях и типы соединений фотоэлектрических элементов, защищенных шунтирующими диодами 65
Библиография 67

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

МОДУЛИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Оценка соответствия техническим требованиям

Часть 2

Методы испытаний

Photovoltaic modules.
Evaluation of compliance with technical requirements.
Part 2. Test methods

Дата введения — 2025—12—10

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на плоские фотоэлектрические модули, предназначенные для длительной работы на открытом воздухе, и устанавливает методы испытаний для подтверждения соответствия таких модулей техническим требованиям.

Стандарт следует применять совместно с ГОСТ 35322.1, в котором установлены общие требования к оценке соответствия указанных фотоэлектрических модулей техническим требованиям, а также ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 и ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]), в которых установлены специальные требования к оценке соответствия техническим требованиям фотоэлектрических модулей, изготовленных по разным технологиям.

Стандарт применим к плоским фотоэлектрическим модулям (приемникам излучения), предназначенным для работы при концентрированном излучении со степенью концентрации не более трех. Однако для таких фотоэлектрических модулей испытаний по настоящему стандарту, ГОСТ 35322.1, а также ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]) может быть недостаточно. Испытания таких модулей следует проводить при значениях тока, напряжения и мощности, ожидаемых при максимальной концентрации, на которую они рассчитаны.

Примечание — Методы испытаний для подтверждения соответствия техническим требованиям фотоэлектрических устройств с концентраторами, в том числе фотоэлектрических модулей (приемников излучения), см. [2].

Стандарт распространяется на фотоэлектрическую часть интегрированных фотоэлектрических модулей, в том числе фотоэлектрических модулей, интегрированных с конструкциями зданий, если она плоская. Он также применим для оценки фотоэлектрических характеристик и свойств интегрированных фотоэлектрических модулей с плоской фотоэлектрической частью в целом. При этом в программу испытаний на подтверждение соответствия интегрированных фотоэлектрических модулей техническим требованиям также входят все испытания, обязательные для конструкции, с которой интегрирован фотоэлектрический модуль.

Стандарт не распространяется на фотоэлектрические модули со встроенными электронными устройствами, например инверторами, однако его можно использовать в качестве основы для испытаний таких фотоэлектрических модулей.

При испытаниях фотоэлектрических модулей с многопереходными фотоэлектрическими элементами в испытания следует внести коррективы, учитывающие отличия испытаний таких модулей (см. [3], [4]).

Издание официальное

Каждый метод испытаний в настоящем стандарте изложен как отдельное законченное испытание с одинаковыми начальными испытаниями. Если, согласно ГОСТ 35322.1—2025, рисунок 2, с образцами, прошедшими испытание, сразу проводят заключительные испытания всей программы испытаний, то из заключительных испытаний данного испытания выполняют только визуальный контроль по 4.1, после чего с ними выполняют заключительные испытания всей программы испытаний (за исключением испытания на деградацию под воздействием высокого напряжения, см. 4.18.5).

Результаты испытаний по стандартам серии на оценку соответствия техническим требованиям не предназначены для определения срока службы фотоэлектрических модулей, т. к. фактический срок службы фотоэлектрических модулей зависит от их конструкции и установки, окружающей среды и условий работы модулей.

Методы испытаний, установленные в настоящем стандарте, в ГОСТ 35322.1, а также ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 и ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]), также следует использовать при определении отдельных характеристик и оценки свойств фотоэлектрических модулей. В том числе в процессе изготовления в последовательности, определяемой технологией изготовления и условиями производства, а также для контроля состояния и характеристик фотоэлектрических модулей в процессе эксплуатации.

В стандарте не рассмотрены методы испытаний для подтверждения соответствия специальным требованиям, связанным с отдельными вариантами применения и особенностями конструкции фотоэлектрических модулей. Например, специальные требования для случаев, когда фотоэлектрические модули интегрированы в конструкции здания/объекта, будут применяться в зонах с особыми климатическими условиями или на транспорте и т. п. Для оценки соответствия таких модулей специальным требованиям должны быть проведены дополнительные испытания по соответствующим стандартам или иным нормативным документам (например, [5] — для фотоэлектрических модулей, предназначенных для работы в морском климате; [6] — для фотоэлектрических модулей, предназначенных для работы в зонах с повышенным содержанием аммиака в воздухе, и т. п.).

Испытания по настоящему стандарту могут проводиться совместно с испытаниями на соответствие требованиям безопасности с одним и тем же набором образцов (см. [7]).

Примечание — Обозначения методов испытаний, установленных в настоящем стандарте, и методов испытаний на соответствие требованиям безопасности, принятые в Международной электротехнической комиссии, указаны в приложении А.

Условия испытаний, установленные в стандартах, приведены в приложении Б.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 15150 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 25706 Лупы. Типы, основные параметры. Общие технические требования

ГОСТ 28201 (МЭК 68-2-3—69) Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Са: Влажное тепло, постоянный режим

ГОСТ 30630.0.0 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Общие требования

ГОСТ 35322.1—2025 Модули фотоэлектрические. Оценка соответствия техническим требованиям. Часть 1. Общие требования

ГОСТ 35322.1.1 Модули фотоэлектрические. Оценка соответствия техническим требованиям. Часть 1.1. Специальные требования к испытаниям фотоэлектрических модулей на основе кристаллического кремния

ГОСТ 35322.1.3 Модули фотоэлектрические. Оценка соответствия техническим требованиям. Часть 1.3. Специальные требования к испытаниям тонкопленочных фотоэлектрических модулей на основе аморфного кремния

ГОСТ 35322.1.4 Модули фотоэлектрические. Оценка соответствия техническим требованиям. Часть 1.4. Специальные требования к испытаниям тонкопленочных фотоэлектрических модулей на основе $Cu(In, Ga)(S, Se)_2$

ГОСТ IEC 61140—2012 Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования[1)]

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (www.easc.by) или по указателям национальных стандартов, издаваемым в государствах, указанных в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент, с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Стабилизация

3.1 Общие положения

Все испытуемые образцы должны иметь стабильные электрические характеристики. Для достижения этой цели испытуемые образцы подвергают обработке с помощью освещения или альтернативным методом до тех пор, пока максимальная мощность испытуемых образцов не станет стабильной, т. е. когда ее изменение в результате обработки будет отвечать требованию 3.2.

3.2 Критерий завершения стабилизации

Стабилизацию состояния испытуемого образца оценивают по изменению его максимальной мощности. Считают, что максимальная мощность испытуемого образца и, соответственно, его электрические характеристики и состояние в целом стабилизировались, если выполнено следующее условие

$$\frac{P_{max}^{max} - P_{max}^{min}}{P_{max}^{med}} < x, \qquad (1)$$

где P_{max}^{max}, P_{max}^{min}, P_{max}^{med} — соответственно максимальное, минимальное и среднее значения максимальной мощности в трех последних последовательных измерениях вольт-амперных характеристик (ВАХ);

x — показатель завершения стабилизации. Значение параметра x определяется технологией изготовления испытуемых образцов и указано в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 и ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

3.3 Стабилизация освещением

Стабилизацию электрических характеристик испытуемых образцов освещением рекомендуется проводить под имитатором солнечного излучения непрерывного действия, измерение ВАХ — под имитатором солнечного излучения при стандартных условиях испытаний (СУИ).

3.3.1 Испытательное оборудование

Необходимо оборудование для измерения ВАХ по 4.2 в соответствии с выбранным вариантом: под имитатором солнечного излучения или при естественном солнечном освещении, а также необходимы активная нагрузка, обеспечивающая работу испытуемого образца вблизи точки его максимальной мощности, или электронное устройство слежения за точкой максимальной мощности. Для стабилизации при естественном солнечном освещении рекомендуется использовать устройство слежения за точкой максимальной мощности.

Имитатор солнечного излучения для световой экспозиции должен быть класса ССС или выше (см. [8]). При начальной и конечной стабилизации рекомендуется использовать один и тот же имитатор солнечного излучения.

[1)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 58698—2019 (МЭК 61140:2016) «Защита от поражения электрическим током. Общие положения для электроустановок и электрооборудования».

3.3.2 Проведение стабилизации

1) Измеряют ВАХ, как указано в 4.2, при СУИ или при выбранных условиях по энергетической освещенности и температуре. Определяют максимальную мощность испытуемых образцов.

Рекомендуется измерять ВАХ при СУИ, под имитатором солнечного излучения. Для двусторонних испытуемых образцов достаточно мерять ВАХ при СУИ с лицевой стороны.

Значение температуры испытуемых образцов должно быть выбрано таким образом, чтобы его можно было воспроизвести с точностью ±2,0 °С при всех последующих измерениях ВАХ при стабилизации.

2) Подключают к испытуемым образцам активную нагрузку или устройство слежения за максимальной мощностью.

3) Подвергают рабочие поверхности испытуемых образцов выдержке при освещении под имитатором солнечного излучения для световой экспозиции или при естественном солнечном освещении. Суммарная энергетическая экспозиция определяется технологией изготовления испытуемых образцов и указана в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

Экспозицию под имитатором солнечного излучения следует проводить при энергетической освещенности в пределах от 800 до 1000 Вт/м^2.

Если стабилизацию проводят при естественном солнечном освещении, при определении суммарной энергетической экспозиции учитывают только уровни энергетической освещенности 500 Вт/м^2 и выше.

Допустимый диапазон значений температуры испытуемых образцов при проведении стабилизации с использованием имитатора солнечного излучения составляет (50 ± 10) °С. Значение температуры испытуемых образцов должно быть выбрано таким образом, чтобы его можно было воспроизвести с точностью ±2,0 °С на всех последующих этапах стабилизации. При проведении стабилизации при естественном солнечном освещении допустимый диапазон температуры испытуемых образцов определяется технологией их изготовления и установлен в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

Регистрируют в процессе воздействия значения энергетической освещенности, температуры испытуемых образцов и активной нагрузки, а также значение суммарной энергетической экспозиции на данном этапе.

4) Отключают активную нагрузку или устройство слежения за максимальной мощностью от испытуемых образцов.

5) Измеряют ВАХ так же, как на этапе 1, и определяют максимальную мощность испытуемых образцов при той же энергетической освещенности, что и на этапе 1, и той же температуре с отклонением не более ±2,0 °С.

Промежуток времени между завершением выдержки и измерением ВАХ определяется технологией изготовления фотоэлектрических модулей и установлен в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

6) Повторяют этапы 2—4.

Суммарная энергетическая экспозиция при втором и последующих проведениях этапа 3 должна быть приблизительно равна энергетической экспозиции при первоначальном выполнении этапа 3.

7) Оценивают изменение максимальной мощности испытуемых образцов в соответствии с *3.2*.

Если изменение максимальной мощности испытуемого образца отвечает требованиям *3.2*, его стабилизацию завершают.

Если изменение максимальной мощности испытуемого образца не отвечает требованиям *3.2*, повторяют этапы 2—7, используя для проверки стабильности максимальной мощности значения трех последних измерений, до тех пор, пока не будет выполнено условие неравенства (1) и максимальную мощность испытуемого образца можно будет считать стабильной.

8) Вносят в протокол испытаний значения общей суммарной энергетической экспозиции стабилизации и всех параметров, при которых была достигнута стабилизация. При проведении испытаний при естественном солнечном освещении, там, где это необходимо, указывают тип активной нагрузки и профили изменения температуры и энергетической освещенности во времени.

3.4 Альтернативные методы стабилизации

3.4.1 Общие положения

Вместо выдержки при освещении для стабилизации характеристик испытуемых образцов могут быть использованы другие, альтернативные, методы (например, протекание тока смещения может оказывать воздействие, сходное с освещением). Альтернативные методы стабилизации могут быть рекомендованы изготовителем.

Некоторые условия воздействия внешних факторов могут изменить состояние полупроводниковых дефектов не типичным для условий эксплуатации образом, и они не связаны с механизмами деградации, на которые нацелены испытания на воздействие внешних факторов, установленные в настоящем стандарте. В этом случае может быть необходима стабилизация по альтернативному методу (например, стабилизация с помощью светоиндуцированной бор-кислородной деградации, 3.4.3), позволяющая привести дефекты в воспроизводимое состояние до или после испытаний на внешние воздействия. Когда применять такую стабилизацию, указано в соответствующем стандарте, относящемся к технологии изготовления испытуемых образцов [ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 и ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1])].

Альтернативный метод стабилизации используют, только если это допустимо для фотоэлектрических модулей данного типа согласно соответствующему стандарту: ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

Перед использованием альтернативного метода стабилизации следует проверить его применимость для испытуемых фотоэлектрических модулей.

Если подтверждена применимость альтернативного метода, испытуемые образцы, участвовавшие в проверке альтернативного метода стабилизации, используют для испытаний по последовательности А.

3.4.2 Проверка применимости альтернативного метода стабилизации

Проверку применимости метода проводят с тремя испытуемыми образцами следующим образом.

1) Проводят стабилизацию испытуемых образцов по альтернативному методу.

2) Измеряют ВАХ испытуемых образцов при СУИ в соответствии с 4.2.3 не ранее минимального и не позднее максимального времени восстановления после выдержки, установленного для фотоэлектрических модулей, изготовленных по данной технологии, в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

3) Проводят стабилизацию испытуемых образцов с помощью освещения, используя имитатор солнечного излучения, как указано в 3.3.

4) Повторно измеряют ВАХ испытуемых образцов при СУИ в соответствии с 4.2.3 не ранее минимального и не позднее максимального времени восстановления после выдержки, установленного для фотоэлектрических модулей, изготовленных по данной технологии, в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

Альтернативный метод допускается использовать для стабилизации испытуемых образцов, если результаты измерений ВАХ, выполненные на этапах 2 и 4, отличаются не более чем на 2 % для всех трех испытуемых образцов.

3.4.3 Стабилизация с помощью светоиндуцированной бор-кислородной деградации

Данный альтернативный метод стабилизации используют только при испытаниях фотоэлектрических модулей на основе кристаллического кремния для конечной стабилизации после испытания на воздействие высокой температуры при высокой влажности (см. ГОСТ 35322.1.1—2025, подпункт 3.2.3.1).

3.4.3.1 Испытательное оборудование

а) Оборудование для измерения ВАХ по 4.2 в соответствии с выбранным вариантом: под имитатором солнечного излучения или при естественном солнечном освещении.

б) Испытательная климатическая камера с автоматическим управлением температурой, средствами обеспечения внутренней циркуляции воздуха и средствами минимизации образования конденсата на испытуемых образцах при проведении испытаний, обеспечивающая условия выдержки испытуемых образцов, указанные в 3.4.3.2. Циркуляция воздуха вокруг испытуемых образцов должна обеспечивать выполнение температурных условий для каждого испытуемого образца.

в) Приспособления для установки испытуемого образца в испытательной климатической камере, обеспечивающие беспрепятственную циркуляцию окружающего воздуха. Теплопроводность стоек и креплений должна быть настолько низкой, чтобы с практической точки зрения испытуемые образцы можно было считать теплоизолированными.

Если изготовителем испытуемых образцов предоставлены или описаны специальные приспособления для установки испытуемого образца в испытательной климатической камере, используют эти приспособления, дополняя или модифицируя их, если необходимо.

г) Средства измерения и регистрации температуры испытуемого образца с точностью не менее ±2,0 °С и повторяемостью ±0,5 °С.

д) Средства для подачи на протяжении всего испытания на испытуемые образцы постоянного тока, равного току короткого замыкания образцов при СУИ ±5 % (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности ±5 %).

3.4.3.2 Проведение стабилизации

1) Измеряют ВАХ, как указано в 4.2, при СУИ или при выбранных условиях по энергетической освещенности и температуре. Определяют максимальную мощность испытуемых образцов.

Рекомендуется измерять ВАХ при СУИ, под имитатором солнечного излучения.

Значение температуры испытуемых образцов должно быть выбрано таким образом, чтобы его можно было воспроизвести с точностью ±2,0 °С при всех последующих измерениях ВАХ при стабилизации.

2) Устанавливают датчики температуры в середине лицевой или тыльной поверхности испытуемого образца. Если одновременно проводят испытания нескольких испытуемых образцов, достаточно установить датчики только на одном испытуемом образце.

3) Устанавливают испытуемый образец в испытательной климатической камере при комнатной температуре.

Интегрированные фотоэлектрические модули устанавливают так же, как в условиях эксплуатации, вместе с внешними по отношению к модулю конструкциями, элементами, материалами или их имитаторами, если они влияют на тепло-влажностный режим, работу и свойства испытуемых образцов в условиях эксплуатации.

4) Подключают приборы для регистрации температуры к датчикам температуры.

5) Подключают каждый испытуемый образец к отдельному источнику питания, соединив положительный вывод испытуемого образца с положительным выходом источника питания и отрицательный — с отрицательным. Подключают приборы для регистрации тока и напряжения.

6) Закрывают испытательную климатическую камеру и подают на каждый испытуемый образец постоянный ток, равный току короткого замыкания образцов при СУИ ±5 %. Токи, подаваемые на разные образцы в одной камере, не обязательно должны быть одинаковыми.

7) Увеличивают температуру в испытательной климатической камере таким образом, чтобы температура испытуемых образцов находилась в диапазоне (80 ± 5) °С.

8) Поддерживают ток и температуру на установленном уровне в течение (48 ± 2) ч. После этого отключают все приборы, подключенные на этапах 5 и 6, и извлекают испытуемые образцы из камеры.

В процессе воздействия регистрируют значения температуры испытуемых образцов и токов, подаваемых на образцы, напряжение, время выдержки.

9) Испытуемые образцы должны остыть до температуры (23 ± 5) °С.

10) После стабилизации температуры измеряют ВАХ, как указано в 4.2, и определяют максимальную мощность испытуемых образцов, при той же температуре, что и на этапе 1, ±2,0 °С и той же энергетической освещенности.

Промежуток времени между завершением выдержки и измерением ВАХ определяется технологией изготовления фотоэлектрических модулей и установлен в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

11) Повторяют этапы 2—10.

12) Оценивают изменение максимальной мощности испытуемых образцов в соответствии с 3.2.

Если изменение максимальной мощности испытуемого образца отвечает требованиям 3.2, его стабилизацию завершают.

Если изменение максимальной мощности испытуемого образца не отвечает требованиям 3.2, повторяют этапы 2—12, используя для проверки стабильности максимальной мощности значения трех последних измерений, до тех пор, пока не будет выполнено условие неравенства (1) и максимальную мощность испытуемого образца можно будет считать стабильной.

13) Вносят в протокол испытаний значения всех параметров, при которых была достигнута стабилизация.

3.5 Начальная стабилизация

Начальную стабилизацию освещением проводят, как указано в 3.3.1.

Если предполагается использовать альтернативный метод стабилизации и он допустим для фотоэлектрических модулей данного типа в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]), то сначала выполняют проверку применимости метода с тремя фотоэлектрическими модулями, как указано в 3.3.2. Если проверка прошла успешно, проводят начальную стабилизацию, используя альтернативный метод, если нет, выполняют стабилизацию с помощью освещения.

Количество испытуемых образцов, которые должны пройти начальную стабилизацию, определяется для фотоэлектрических модулей, изготовленных по данной технологии, по ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

3.6 Конечная стабилизация

Если в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]) для фотоэлектрических модулей, изготовленных по данной технологии, не указано иное, то:

- конечную стабилизацию выполняют тем же методом, что и начальную стабилизацию;
- если для фотоэлектрических модулей данного типа не указано иное в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]), конечную стабилизацию должны пройти все испытуемые образцы после проведения испытаний по последовательностям C—F, а также испытуемый образец после испытания шунтирующих диодов на термостойкость (см. ГОСТ 35322.1—2025, рисунок 2).

В каждой конечной стабилизации должен участвовать один образец, прошедший испытания по последовательности A, используемый в качестве контрольного. Для каждой отдельно проводимой конечной стабилизации используют отдельный образец, испытанный по последовательности A (см. ГОСТ 35322.1—2025, раздел 4).

4 Испытания

4.1 Визуальный контроль

4.1.1 Назначение

Испытание предназначено для выявления любых видимых дефектов и повреждений испытуемых образцов.

4.1.2 Испытательное оборудование

Для проведения испытаний требуются световой стол, лупы просмотровые (по крайней мере, ЛП-Х-4$^{\times}$ и ЛП-Х-10$^{\times}$ по ГОСТ 25706), измерительные инструменты, весы, а также фотоаппарат или аналогичное устройство для фиксации дефектов и повреждений с требуемой кратностью увеличения, шаблоны, если необходимо.

4.1.3 Проведение испытания

Тщательно осматривают каждый испытуемый образец при освещении не менее 1000 люкс для выявления видимых функциональных повреждений по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8.

Фиксируют любые дефекты и повреждения, которые могут влиять на функционирование и безопасность испытуемых образцов, описывают и/или фотографируют состояние и положение всех обнаруженных повреждений, в том числе трещин, пузырьков, отслоений и т. п., которые могут ухудшить или отрицательно повлиять на характеристики испытуемого образца в последующих испытаниях, и вносят эти данные в протокол испытаний.

Также во время визуального контроля перед проведением всех испытаний:

- проверяют соответствие габаритных, установочных и присоединительных размеров, а также массы испытуемых образцов значениям, указанным в технической документации;
- проводят испытание маркировки на стойкость к истиранию в соответствии с 4.16.

4.1.4 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8.

После начального визуального контроля должно быть подтверждено, что маркировка отвечает требованиям 4.16, размеры и масса образцов соответствуют указанным в технической документации.

4.2 Измерение вольт-амперных характеристик

4.2.1 Общие положения

Испытание предназначено для измерения ВАХ и определения по ней максимальной мощности и других выходных параметров испытуемых образцов.

Испытание используют для оценки изменения выходных параметров испытуемых образцов в результате воздействий на образцы. Результаты испытания являются показателем завершения стабилизации испытуемых образцов (см. раздел 3) и одним из показателей прохождения или не прохождения ими испытаний (см. ГОСТ 35322.1—2025, пункт 7.2.2). Результаты измерения ВАХ при СУИ (для двусторонних образцов также при стандартных условиях двусторонней освещенности) после начальной стабилизации также используют для проверки соответствия выходных параметров испытуемых образцов значениям, указанным на их паспортных табличках и в технической документации (см. ГОСТ 35322.1—2025, пункт 7.2.1).

Для оценки деградации максимальной мощности двухсторонних испытуемых образцов после проведения испытаний (ГОСТ 35322.1—2025, пункт 7.2.2) измерение ВАХ проводят в стандартных условиях двусторонней освещенности. Коэффициенты двусторонности определяют, и, соответственно, измеряют ВАХ при СУИ для обеих сторон модуля, только если это указано в процедуре конкретного испытания.

Для оценки изменения характеристик испытуемых образцов очень важным является воспроизводимость результатов испытания. Воспроизводимость для максимальной мощности испытуемых образцов при СУИ (для двусторонних образцов также при стандартных условиях двусторонней освещенности) должна быть не хуже установленной для фотоэлектрических модулей, изготовленных по данной технологии (см. ГОСТ 35322.1—2025, пункт 7.2.2).

ВАХ измеряют по общей методике измерения ВАХ для фотоэлектрических приборов (см. [9]) с указанными в настоящем подразделе изменениями и дополнениями. Измерения ВАХ фотоэлектрических модулей с многопереходными элементами и двусторонних фотоэлектрических модулей следует проводить с учетом специальных требований к измерению ВАХ таких модулей (см. [3] и [10] соответственно).

Измерение ВАХ проводят при СУИ (см. 4.2.3), при условиях низкой освещенности (УНО) (см. 4.2.5) и при выбранных условиях по энергетической освещенности и температуре (см. 4.2.4). Измерение ВАХ двусторонних фотоэлектрических модулей проводят также в стандартных условиях двусторонней освещенности и в условиях повышенной двусторонней освещенности (см. 4.2.6).

Примечание — При измерении ВАХ и обеспечении требуемых условий испытаний, если не оговорено иное, считают, что температура элемента равна температуре на поверхности фотоэлектрического модуля.

Измерения ВАХ проводят с использованием имитатора солнечного излучения.

В процессе выполнения всей программы испытаний для измерения ВАХ рекомендуется использовать один и тот же имитатор солнечного излучения. Если для измерения ВАХ используют разные имитаторы солнечного излучения, это должно быть отмечено в протоколе испытаний и должна быть приведена информация о различиях имитаторов, позволяющая обеспечить сопоставимость результатов измерений и оценить их точность.

Допускается измерение ВАХ при естественном солнечном освещении, если точность измерения ВАХ и определения выходных параметров испытуемых образцов сопоставима с результатами, полученными при измерении ВАХ под имитатором солнечного излучения, и достаточна для оценки изменения максимальной мощности.

Все измерения ВАХ для определения изменения максимальной мощности в результате проведения отдельных испытаний по настоящему стандарту рекомендуется проводить при СУИ, двусторонних фотоэлектрических модулей — в стандартных условиях двусторонней освещенности.

Примечание — Измерение ВАХ не при СУИ (стандартных условиях двусторонней освещенности) с последующим приведением значения максимальной мощности к СУИ (стандартных условиях двусторонней освещенности) для оценки выполнения условия ГОСТ 35322.1—2025, пункт 7.2.2, может привести к существенным погрешностям и недостоверной оценке результатов испытаний.

При измерении ВАХ гибких фотоэлектрических модулей испытуемые образцы должны находиться в горизонтальном и плоском (т. е. полностью разложенном) положении.

Измерения ВАХ фотоэлектрических модулей большой площади (определение см. ГОСТ 35322.1—2025, подраздел 3.5) испытательная организация может проводить на предприятии-изготовителе, при условии, что измерения полностью соответствуют требованиям настоящего стандарта.

4.2.2 Испытательное оборудование

Для проведения испытаний необходимо испытательное оборудование для измерения ВАХ фотоэлектрических приборов (см. [9]) со следующими изменениями и дополнениями.

При проведении измерений с помощью имитатора солнечного излучения имитатор должен быть класса САА или выше и отвечать требованиям к имитаторам солнечного излучения, используемым для определения характеристик фотоэлектрических приборов (см. [8]). При испытаниях фотоэлектрических модулей большой площади, допускается использовать имитатор класса СВА.

Пространственная однородность и относительное спектральное распределение энергетической освещенности в области измерений имитатора не должны различаться при разных значениях энергетической освещенности в пределах значений, необходимых для измерений по настоящему стандарту.

Чтобы достичь требуемой точности измерений, спектральное распределение энергетической освещенности имитатора солнечного излучения должно охватывать весь диапазон длин волн, охватываемый спектральной чувствительностью испытуемых фотоэлектрических модулей (см. [8] и [11]).

Эталонный фотоэлектрический прибор должен быть эталонным фотоэлектрическим модулем того же размера и выполненным по той же технологии, что и испытуемые образцы (для обеспечения соответствия характеристик эталонного фотоэлектрического прибора характеристикам испытуемых образцов в требуемых диапазонах энергетической освещенности, спектрального распределения и температур) и отвечать требованиям к эталонным фотоэлектрическим приборам (см. [12]).

Если указанный эталонный прибор недоступен, то используют имитатор солнечного излучения класса ААА или необходимо дополнительное оборудование для измерения спектральной чувствительности испытуемых образцов (см. [13]).

Требования к спектрорадиометру приведены в [14].

Для измерения ВАХ фотоэлектрических модулей с многопереходными элементами источник освещения и эталонный фотоэлектрический прибор должны отвечать дополнительным требованиям (см. [3], подразделы 6.1 и 6.2), в частности для измерений с использованием имитатора солнечного излучения используют только имитатор класса ААА. Если в этом случае необходимо оборудование для измерения спектральной чувствительности, оно также должно отвечать дополнительным требованиям (см. [4]).

Также для измерения ВАХ необходимы:

- требуемое количество датчиков температуры испытуемых образцов (см. 4.2.3). Если возможно с достаточной точностью определить точку средней температуры испытуемого образца, то для измерения его температуры достаточно использовать один датчик температуры;
- средства поддержания температуры испытуемого образца на уровне (25 ± 2) °С или на уровне выбранного значения температуры и, если необходимо, средства поддержания температуры эталонного фотоэлектрического прибора, с точностью ±1 °С и повторяемостью ±0,5 °С.

Для измерения ВАХ при УНО также необходимы средства для изменения энергетической освещенности до 200 Вт/м^2 без изменения пространственной однородности и относительного спектрального распределения энергетической освещенности (см. оборудование, приведенное в [15]).

Для проведения испытания двусторонних фотоэлектрических модулей необходимо дополнительное оборудование (см. [10], раздел 5). Имитатор солнечного излучения должен также отвечать дополнительным требованиям (см. [10], подразделы 5.1, 5.2) и иметь регулировку уровней энергетической освещенности лицевой и тыльной поверхности испытуемых образцов таким образом, чтобы можно было обеспечить стандартные условия двусторонней освещенности образцов и условия повышенной двусторонней освещенности [одновременно (1000 ± 100) Вт/м^2 на лицевой поверхности испытуемого образца и (135 ± 13,5) Вт/м^2 или (300 ± 30) Вт/м^2 на его тыльной поверхности] хотя бы одним из установленных способов, указанных в [10]. Также необходимы перегородки, устанавливаемые по краям образцов, и затеняющий экран, закрывающий во время измерений неосвещаемую сторону испытуемого образца.

4.2.3 Измерение вольт-амперных характеристик при стандартных условиях испытаний

ВАХ испытуемых образцов измеряют при СУИ: суммарная энергетическая освещенность плоскости рабочей поверхности (односторонняя) (1000 ± 100) Вт/м^2, температура элемента (25 ± 2) °С, спектральный состав АМ 1,5 (см. [16]).

Если испытания образцов, предназначенных для работы с концентрированным излучением (коэффициент концентрации не более трех), проводят без соответствующего концентратора, то измерения проводят при энергетической освещенности, равной (1000 ± 100) Вт/м^2, умноженной на максимальный коэффициент концентрации, на который они рассчитаны. Если измерения проводят с концентратором, то измерения проводят при (1000 ± 100) Вт/м^2.

Датчики температуры устанавливают на тыльной поверхности испытуемого образца примерно в середине за двумя фотоэлектрическими элементами. Если необходимо для обеспечения точности измерений, датчики температуры могут быть установлены, как показано на рисунке 1, в трех или четырех точках. Если ВАХ измеряют при естественном солнечном освещении, датчики температуры должны быть установлены, как показано на рисунке 1. При испытании модулей с фотоэлектрическими элементами из кристаллического кремния датчики закрепляют напротив центров фотоэлектрических элементов. При испытании тонкопленочных фотоэлектрических модулей места размещения датчиков не должны совпадать с центрами фотоэлектрических элементов.

Температуру испытуемого образца определяют как среднее значение результатов измерений во всех точках. Не учитывают температуру испытуемого образца в одной из четырех точек измерения, если она отличается более чем на 5 °С от средней температуры остальных трех точек измерения.

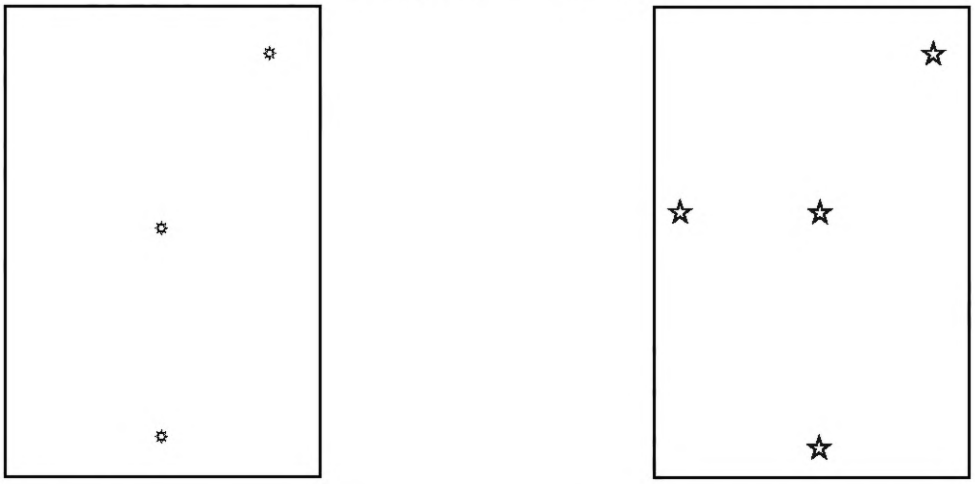


Рисунок 1 — Размещение датчиков температуры на тыльной поверхности испытуемого образца

Если при измерениях испытуемых образцов, электрические характеристики которых можно считать линейными в соответствии с [15], температура образцов вышла за пределы (25 ± 2) °С, их ВАХ приводят к 25 °С, используя методики коррекции по температуре и энергетической освещенности результатов измерения ВАХ фотоэлектрических приборов (см. [17]) и температурные коэффициенты, полученные по 4.4.

Если спектральная чувствительность эталонного фотоэлектрического прибора не идентична спектральной чувствительности испытуемого образца, проводят коррекцию ВАХ с учетом поправки на спектральное несоответствие (см. [14]).

Для двухсторонних испытуемых образцов ВАХ при СУИ измеряют отдельно для лицевой и тыльной поверхностей (см. [10]). Освещают только лицевую поверхность или только тыльную поверхность, закрывая во время измерений неосвещаемую сторону испытуемого образца перегородками, устанавливаемыми по краям образца, и затеняющим экраном.

По ВАХ при СУИ двусторонних испытуемых образцов определяют коэффициенты двусторонности, см. [10]:

$$\varphi_{I_{к.з}} = I_{к.з\ т}/I_{к.з\ л}, \quad (2)$$

$$\varphi_{U_{х.х}} = U_{х.х\ т}/U_{х.х\ л}, \quad (3)$$

$$\varphi_{P_{max}} = P_{max\ т}/P_{max\ л}, \quad (4)$$

где $\varphi_{I_{к.з}}$ — коэффициент двусторонности по току короткого замыкания;

$\varphi_{U_{х.х}}$ — коэффициент двусторонности по напряжению холостого хода;

$\varphi_{P_{max}}$ — коэффициент двусторонности по максимальной мощности;

$I_{к.з\ т}$, $U_{х.х\ т}$ и $P_{max\ т}$ — ток короткого замыкания, напряжение холостого хода и максимальная мощность при освещении только тыльной поверхности испытуемого образца, соответственно;

$I_{к.з\ л}$, $U_{х.х\ л}$ и $P_{max\ л}$ — ток короткого замыкания, напряжение холостого хода и максимальная мощность при освещении только лицевой поверхности испытуемого образца, соответственно.

4.2.4 Измерение вольт-амперных характеристик при выбранных условиях по энергетической освещенности и температуре

ВАХ испытуемых образцов измеряют при выбранных значениях энергетической освещенности и температуры элемента (модуля). Рекомендуется выбирать температуру испытуемого образца в диапазоне от 25 °С до 50 °С и энергетическую освещенность в диапазоне от 700 до 1100 Вт/м^2.

Значения температуры испытуемых образцов и энергетической освещенности должны быть выбраны таким образом, чтобы их можно было воспроизвести с точностью не менее ±2,0 °С и ±5 %, соответственно, при всех измерениях ВАХ.

Датчики температуры устанавливают, как указано в 4.2.3.

Следует принять все меры, для того чтобы обеспечить измерение ВАХ и определение максимальной мощности при сходных условиях испытаний в течение всей программы испытаний, т. е. минимизировать величину поправок выполнением измерений при примерно одинаковых значениях температуры и энергетической освещенности.

Для испытуемых образцов, характеристики которых не являются линейными в соответствии со стандартными методами определения линейности характеристик фотоэлектрических приборов (см. [15]), измерение должно проводиться при отклонении энергетической освещенности в пределах ±5 % и отклонении температуры испытуемых образцов в пределах ±2 °С от выбранного значения.

Если испытуемые образцы предназначены для работы в диапазонах энергетической освещенности и температуры элемента (модуля), отличающихся от рекомендованных, ВАХ могут быть измерены при температуре, энергетической освещенности, соответствующих условиям предполагаемой эксплуатации фотоэлектрического модуля.

Если значения энергетической освещенности и/или температуры во время разных измерений ВАХ одного и того же испытуемого образца различны и характеристики этого образца можно считать линейными в соответствии с [15], полученные результаты приводят к одному значению энергетической освещенности и/или температуры по одной из стандартных методик коррекции по температуре и энергетической освещенности результатов измерения ВАХ фотоэлектрических приборов (см. [17]).

Если спектральная чувствительность эталонного фотоэлектрического прибора не идентична спектральной чувствительности испытуемого образца, проводят коррекцию ВАХ с учетом поправки на спектральное несоответствие (см. [14]).

4.2.5 Измерение вольт-амперных характеристик в условиях низкой освещенности

ВАХ испытуемых образцов измеряют при УНО: суммарная энергетическая освещенность плоскости рабочей поверхности (односторонняя) (200 ± 20) Вт/м^2, температура элемента (25 ± 2) °С, спектральный состав АМ 1,5 (см. [16]).

Датчики температуры устанавливают, как указано в 4.2.3.

Энергетическую освещенность снижают до уровня (200 ± 20) Вт/м^2 с помощью сеточных фильтров с однородной плотностью сетки или других способов, которые не влияют на пространственную однородность и относительное спектральное распределение энергетической освещенности (см. [15], подразделы 6.1 и 6.2).

Если при измерениях испытуемых образцов, электрические характеристики которых можно считать линейными в соответствии с [15], температура испытуемых образцов вышла за пределы (25 ± 2) °С, их ВАХ приводят к 25 °С, используя методики коррекции по температуре и энергетической освещенности результатов измерения ВАХ фотоэлектрических приборов (см. [17]) и температурные коэффициенты, полученные по 4.4.

Если спектральная чувствительность эталонного фотоэлектрического прибора не идентична спектральной чувствительности испытуемого образца, проводят коррекцию ВАХ с учетом поправки на спектральное несоответствие (см. [14]).

Измерения ВАХ двусторонних испытуемых образцов при УНО выполняют аналогично измерению ВАХ при СУИ (4.2.3). По полученным ВАХ также рассчитывают коэффициенты двусторонности при УНО по формулам (2)—(4).

4.2.6 Измерение вольт-амперных характеристик в условиях двусторонней освещенности

Измеряют ВАХ двусторонних испытуемых образцов (см. [10]). Измерения ВАХ выполняют в стандартных условиях двусторонней освещенности: суммарная энергетическая освещенность лицевой поверхности (1000 ± 100) Вт/м^2, суммарная энергетическая освещенность тыльной поверхности (135 ± 13,5) Вт/м^2, температура элемента (25 ± 2) °С, спектральный состав АМ 1,5 (см. [16]) и в условиях повышенной двусторонней освещенности: суммарная энергетическая освещенность лицевой поверхно-

сти (1000 ± 100) Вт/м^2, суммарная энергетическая освещенность тыльной поверхности (300 ± 30) Вт/м^2, температура элемента (25 ± 2) °С, спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]).

Если нет возможности обеспечить указанную энергетическую освещенность с двух сторон испытуемого образца, допускается использовать одностороннее освещение образца с лицевой стороны с энергетической освещенностью, эквивалентной по воздействию энергетической освещенности обоих рабочих поверхностей испытуемых образцов (см. [10]). Значение такой односторонней энергетической освещенности определяют по формулам:

$$E_{BNPI} = 1000 + 135\varphi_{I_{к.з}}, \quad (5)$$

$$E_{BSI} = 1000 + 300\varphi_{I_{к.з}}, \quad (6)$$

где E_{BNPI} — односторонняя энергетическая освещенность лицевой поверхности испытуемого образца (при неосвещенной тыльной поверхности образца), эквивалентная по воздействию двусторонней энергетической освещенности при стандартных условиях двусторонней освещенности, Вт/м^2;

E_{BSI} — односторонняя энергетическая освещенность лицевой поверхности испытуемого образца (при неосвещенной тыльной поверхности образца), эквивалентная по воздействию двусторонней энергетической освещенности при условиях повышенной двусторонней освещенности, Вт/м^2;

$\varphi_{I_{к.з}}$ — коэффициент двусторонности по току короткого замыкания испытуемого образца.

Для определения параметров двусторонних испытуемых образцов при стандартных условиях двусторонней освещенности можно использовать приведение результатов измерения ВАХ при СУИ с лицевой поверхности образцов к уровню эквивалентной односторонней энергетической освещенности, используя стандартные методики коррекции по температуре и энергетической освещенности результатов измерения ВАХ (см. [17]), если выполняются требования по максимально допустимому значению расширенной неопределенности $U_{0,95}(P^0_{max\ СУИ})$, см. ГОСТ 35322.1—2025, пункт 7.2.1, и электрические характеристики образцов можно считать линейными в соответствии с [15].

Примечания

1 Использование стандартных методик коррекции по температуре и энергетической освещенности результатов измерения ВАХ (см. [17]) двусторонних испытуемых образцов для определения эквивалентного значения энергетической освещенности лицевой поверхности может помочь избежать калибровки имитатора солнечного излучения для испытуемых образцов с отличающимися значениями коэффициентов двусторонности.

2 Измерение ВАХ в условиях повышенной двусторонней освещенности не обязательно. Для оценки характеристик и поведения двусторонних испытуемых образцов в условиях повышенной двусторонней освещенности токи могут быть экстраполированы от более низких значений энергетической освещенности, если не указано иное в условиях конкретных испытаний.

4.3 Измерение сопротивления изоляции

4.3.1 Назначение

Испытание предназначено для проверки, достаточно ли хорошо токоведущие части испытуемого фотоэлектрического модуля изолированы от доступных частей и доступных проводящих частей.

4.3.2 Испытательное оборудование и материалы

а) Прибор для измерения сопротивления изоляции, который обеспечивает следующие функции:

- ограничение тока;
- подачу напряжения постоянного тока, значение которого с точностью не менее 2 % равно значению, указанному в таблице 1 для соответствующего максимального номинального напряжения постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую предназначены фотоэлектрические модули, соответствующего класса модулей по способу защиты от поражения электрическим током и в зависимости от наличия непроницаемых соединений;
- измерение тока по миллиамперной шкале;
- измерение сопротивления, если необходимо.

Для выполнения этих функций могут быть использованы одно или несколько различных устройств.

б) Проводящая фольга, размер фольги должен быть достаточен для выполнения этапа 2.

4.3.3 Условия испытания

Испытание проводят при температуре окружающего воздуха (25 ± 10) °С и относительной влажности не более 75 %.

Уровни испытательного напряжения определяются максимальным номинальным напряжением постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую предназначены испытуемые фотоэлектрические модули, классом испытуемых фотоэлектрических модулей по способу защиты от поражения электрическим током и наличием в их конструкции непроницаемых соединений (см. таблицу 1).

Таблица 1 — Испытательное напряжение для измерения сопротивления изоляции

Класс по способу защиты от поражения электрическим током	Наличие непроницаемых соединений	Испытательное напряжение, В	
		Первая подача напряжения	Вторая подача напряжения
0	Нет	1000 + удвоенное максимальное номинальное напряжение постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую предназначены испытуемые образцы	500 или максимальное номинальное напряжение постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую предназначены испытуемые образцы, в зависимости от того, какое больше
	Да	1,35 × (1000 + удвоенное максимальное номинальное напряжение постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую предназначены испытуемые образцы)	
II	Нет	2000 + четырехкратное максимальное номинальное напряжение постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую предназначены испытуемые образцы	500 или максимальное номинальное напряжение постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую предназначены испытуемые образцы, в зависимости от того, какое больше
	Да	1,35 × (2000 + четырехкратное максимальное номинальное напряжение постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую предназначены испытуемые образцы)	
III	Нет	500	500
	Да		

Примечания

1 Классы фотоэлектрических модулей по способу защиты от поражения электрическим током установлены в [18], раздел 5[1)], и соответствуют ГОСТ IEC 61140—2012, раздел 7[2)].

2 Испытание по измерению сопротивления изоляции по настоящему стандарту полностью совпадает с этим испытанием при оценке соответствия требованиям безопасности (см. [7]). И соответственно применяют те же уровни испытательного напряжения.

3 Данные о непроницаемых соединениях в фотоэлектрических модулях и их учете приведены в [18] и [7], определение — см. ГОСТ 35322.1—2025, подраздел 3.14.

Рабочая поверхность испытуемого образца должна быть защищена от попадания на нее освещения, и испытуемый образец не должен быть подключен к какому-либо источнику питания, кроме измерительного прибора.

Примечание — В испытуемом образце с несколькими рабочими поверхностями от освещения должны быть защищены все рабочие поверхности.

4.3.4 Проведение испытания

1) Устанавливают перемычку между выводами испытуемого образца и соединяют их с положительным выходом прибора для измерения сопротивления изоляции.

---

1) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 58809.1—2020 (МЭК 61730-1:2016), в котором это раздел 4.

2) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 58698—2019 (МЭК 61140:2016), также раздел 7.

2) Соединяют открытые металлические части испытуемого образца с отрицательным выходом измерительного прибора. Если у испытуемого образца отсутствует рама или она не проводит или плохо проводит ток, плотно оборачивают края образца проводящей фольгой. Соединяют все части фольги с отрицательным выходом измерительного прибора.

Фотоэлектрические модули, изготовленные по некоторым технологиям, могут быть чувствительными к статической поляризации, если модуль находится под положительным потенциалом на раме. В этом случае подключение прибора для измерения сопротивления изоляции к испытуемым образцам следует выполнять с противоположной полярностью, данные о чувствительности испытуемых образцов к статической поляризации должны быть предоставлены изготовителем и занесены в протокол испытаний.

3) Через 1 мин или более после выполнения этапа 2 включают измерительный прибор и со скоростью, не превышающей 500 В/с, увеличивают подаваемое измерительным прибором напряжение до значения, равного указанному в таблице 1. Поддерживают напряжение на этом уровне в течение 1 мин.

4) Снижают приложенное напряжение до нуля и устанавливают перемычку между выводами измерительного прибора для сброса остаточного напряжения испытуемого образца.

5) Определяют наличие следов пробоя изоляции или поверхностного пробоя. При обнаружении следов нарушения изоляции или поверхностного пробоя испытания прекращают и испытуемый образец считают не выдержавшим испытания.

6) Убирают перемычку между выводами измерительного прибора.

7) Повторно подают напряжение на испытуемый образец: со скоростью, не превышающей 500 В/с, увеличивают подаваемое измерительным прибором напряжение до значения, указанного в таблице 1, и поддерживают напряжение на этом уровне в течение 2 мин.

8) Определяют сопротивление изоляции.

9) Снижают приложенное напряжение до нуля и устанавливают перемычку между выводами измерительного прибора для сброса остаточного напряжения испытуемого образца.

10) Убирают перемычку между выводами измерительного прибора и отсоединяют измерительное оборудование от испытуемого образца.

4.3.5 Заключительные испытания

Проводят визуальный контроль по 4.1.

4.3.6 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- при проведении испытания не было пробоя изоляции и поверхностного пробоя;
- у испытуемых образцов с площадью рабочей поверхности не более 0,1 м^2 значение сопротивления изоляции не менее 400 МОм;
- у испытуемых образцов с площадью рабочей поверхности более 0,1 м^2 произведение измеренного сопротивления изоляции на площадь поверхности испытуемого образца не менее 40 МОм·м^2.

4.4 Определение температурных коэффициентов

Испытание предназначено для определения температурных коэффициентов тока короткого замыкания, напряжения холостого хода и максимальной мощности.

Температурные коэффициенты определяют при СУИ по методике для фотоэлектрических приборов (см. [17]).

Полученные значения температурных коэффициентов испытуемых образцов верны при той энергетической освещенности, при которой проводились измерения. При других уровнях энергетической освещенности в значения температурных коэффициентов испытуемых образцов вносят поправку на отклонения энергетической освещенности (для испытуемых образцов с линейными характеристиками в соответствии с [15] поправку вносят, используя стандартную методику для фотоэлектрических приборов [17]).

У двусторонних испытуемых образцов температурные коэффициенты определяют так же, как у односторонних образцов, при воздействии освещения на лицевую поверхность. Тыльную поверхность образцов полностью затеняют таким образом, чтобы вклад от поступающего на нее излучения был не более вклада от неактивной поверхности (см. [10]).

Напряжение холостого хода или ток короткого замыкания не должны определяться никаким другим методом, кроме прямого измерения, например экстраполяцией.

Примечание — Для фотоэлектрических модулей с линейными характеристиками в соответствии с [15] температурные коэффициенты верны при энергетической освещенности в диапазоне ±30 % значения энергетической освещенности, при которой проводились измерения.

Проверяют соответствие полученных значений температурных коэффициентов значениям, указанным в технической документации.

4.5 Испытание на комплексное воздействие факторов окружающей среды в натурных условиях

4.5.1 Назначение

Испытание предназначено для предварительной оценки способности фотоэлектрического модуля противостоять в рабочем режиме воздействию внешней среды и выявить комплексное влияние внешних климатических факторов, ухудшающих характеристики модуля, которое невозможно определить в лабораторных условиях.

Примечание — При оценке срока службы фотоэлектрического модуля по результатам успешного прохождения этого испытания следует быть осторожным, поскольку сами испытания являются кратковременными, и изменения условий внешней среды при этих испытаниях могут быть представлены недостаточно, не отражать всех возможных условий эксплуатации, на применения в которых рассчитаны испытуемые фотоэлектрические модули. Эти испытания *следует* рассматривать как общее руководство или как указание на возможные проблемы.

4.5.2 Испытательное оборудование

а) Прибор для измерения энергетической экспозиции с точностью не менее ±5 %.

б) Открытая стойка, позволяющая устанавливать испытуемый образец и прибор для измерения энергетической экспозиции в соответствии с требованиями 4.5.3. Стойка должна быть теплоизолирована от испытуемого образца и обеспечивать условия для свободного отвода тепла с его поверхностей.

в) Средства установки испытуемого образца в соответствии с рекомендациями изготовителя вместо открытой стойки, с учетом требований перечисления б), если конструкция испытуемого образца не предназначена для установки на открытой стойке.

г) Прибор для проверки копланарности рабочих поверхностей эталонного фотоэлектрического прибора и испытуемого образца, в пределах угла ±2°.

д) Активная нагрузка, обеспечивающая работу испытуемого образца вблизи точки его максимальной мощности, или электронное устройство слежения за точкой максимальной мощности. Значение нагрузки должно быть внесено в протокол испытаний.

4.5.3 Проведение испытания

1) Устанавливают испытуемый образец в соответствии с требованиями изготовителя на открытой стойке или указанным изготовителем образом.

Испытуемый образец устанавливают под углом наклона рабочей поверхности к горизонту, равным широте местности ±5°, ориентируя на юг.

Значение угла наклона испытуемого образца должно быть внесено в протокол испытаний.

2) Устанавливают прибор для измерения энергетической экспозиции в плоскости лицевой рабочей поверхности испытуемого образца в пределах 0,3 м от него таким образом, чтобы рабочие поверхности измерительного прибора и испытуемого образца были копланарны.

3) Устанавливают все рекомендуемые изготовителем средства защиты от местного перегрева.

4) Подключают к испытуемому образцу нагрузку или устройство слежения за точкой максимальной мощности.

5) Подвергают испытуемый образец выдержке при естественном солнечном освещении с суммарной энергетической экспозицией 60 кВт·ч/м^2.

В течение выдержки необходимо следить, чтобы испытуемые образцы не подвергались загрязнению, которое может оказать влияние на результаты испытаний, и очищать испытуемые образцы по мере необходимости, но не реже одного раза в неделю.

4.5.4 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемого образца проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- измерение ВАХ и определение максимальной мощности при СУИ по 4.2.3 или, для двусторонних образов, при стандартных условиях стандартной двусторонней освещенности по 4.2.6;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12.

4.5.5 Оценка результатов испытания

Испытанные образцы считают выдержавшими испытание, если:

- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- снижение максимальной мощности при СУИ (для двусторонних образов — при стандартных условиях двусторонней освещенности) не превышает 5 % значения после начальной стабилизации;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

4.6 Испытание на стойкость к местному перегреву

4.6.1 Назначение

Испытание предназначено для проверки способности фотоэлектрического модуля выдерживать локальный (местный) перегрев.

Информация о местном перегреве в фотоэлектрических модулях и о типах соединений фотоэлектрических элементов, защищенных шунтирующими диодами, приведена в приложение В.

Метод испытаний заключается в определении максимально нагретого фотоэлектрического элемента при нормальном режиме работы испытуемого образца, создании состояния выделения в этом элементе максимальной тепловой энергии и выдержке его в этом состоянии.

Хотя в этих испытаниях абсолютная температура и относительное снижение максимальной мощности не являются критериями успешных испытаний, для гарантии безопасной работы фотоэлектрического модуля испытания проводят при наиболее жестких условиях местного перегрева.

В зависимости от технологии изготовления фотоэлектрических элементов и фотоэлектрических модулей установлено два варианта проведения испытаний. Первый вариант (см. 4.6.3) обычно применяют для испытаний фотоэлектрических модулей, изготовленных из отдельных фотоэлектрических элементов, выполненных на полупроводниковой пластине, например для фотоэлектрических модулей на основе кристаллического кремния. Для наиболее распространенных монолитных тонкопленочных фотоэлектрических модулей (CdTe, CIGS, a-Si и пр.) испытания проводят по второму варианту (см. 4.6.4).

Двусторонние фотоэлектрические модули также испытывают по 4.6.4.

4.6.2 Испытательное оборудование

а) Источник освещения: естественное солнечное освещение или имитатор солнечного излучения непрерывного действия класса ВВВ или выше, отвечающий требованиям к имитаторам солнечного излучения, используемым для определения характеристик фотоэлектрических приборов (см. [8]), и обеспечивающий энергетическую освещенность рабочей поверхности испытуемого образца как минимум в диапазоне от 800 до 1100 Вт/м^2.

При выявлении элементов, наиболее подверженных местному перегреву (наихудшего случая затенения), для измерения ВАХ может быть использован импульсный имитатор солнечного излучения, отвечающий указанным выше требованиям.

При испытании двусторонних образцов источник освещения, используемый для длительного воздействия, должен быть с регулируемыми уровнями энергетической освещенности и/или обеспечивать одновременно заданную энергетическую освещенность на тыльной поверхности испытуемых образцов таким образом, чтобы можно было обеспечить стандартных условиях двусторонней освещенности образцов [(1000 ± 100) Вт/м^2 на лицевой поверхности и (300 ± 50) Вт/м^2 на тыльной поверхности испытуемого образца одновременно, способы создания такой освещенности — см. [10]].

Отклонение энергетической освещенности как при одностороннем, так и при двустороннем освещении образцов не должно быть более ±50 Вт/м^2.

б) Эталонный фотоэлектрический прибор, отвечающий стандартным требованиям к эталонным фотоэлектрическим приборам (см. [12]). Характеристики эталонного фотоэлектрического прибора должны соответствовать характеристикам испытуемого образца в требуемых диапазонах энергетической освещенности, спектрального распределения и температур.

Спектральная чувствительность эталонного прибора должна соответствовать спектральной чувствительности испытуемого образца. Допускается использовать эталонный прибор, спектральная чувствительность которого не соответствует спектральной чувствительности испытуемого образца, если можно выполнить коррекцию ВАХ на спектральное несоответствие по стандартной методике для фотоэлектрических приборов (см. [14]).

В диапазоне энергетической освещенности, в котором проводятся испытания, эталонный прибор должен иметь линейные характеристики в соответствии с [15].

Если испытание проводят при естественном солнечном освещении, эталонный прибор должен быть эталонным фотоэлектрическим модулем того же размера и выполненным по той же технологии, что и испытуемый образец.

Примечание — Эталонный прибор считается совпадающим по спектральным характеристикам с испытуемым образцом, если технология изготовления его элементов, конструктивные особенности и герметизация такие же, как у испытуемого образца. В противном случае в протокол испытаний следует внести данные о несовпадении спектральных характеристик.

в) Средства установки испытуемого образца в соответствии с рекомендациями изготовителя, если необходимо.

г) Двухосевая система слежения, обеспечивающая слежение за солнцем таким образом, чтобы поступающее излучение было перпендикулярно рабочим поверхностям образца и эталонного фотоэлектрического прибора в пределах угла падения ±5°, если испытание проводят при естественном солнечном освещении.

д) Прибор для проверки копланарности рабочих поверхностей эталонного фотоэлектрического прибора и типичного испытуемого образца, рядом с которым устанавливают эталонный прибор, в пределах угла ±2°.

е) Средства для измерения температуры испытуемого образца и, если необходимо, эталонного фотоэлектрического прибора с точностью не менее ±1 °С и повторяемостью ±0,5 °С.

ж) Тепловизор, а также иные средства измерения температуры фотоэлектрических элементов, если необходимо. Разрешение камеры должно позволять фиксировать изменения температуры в пределах одного фотоэлектрического элемента.

и) Средства поддержания температуры испытуемого образца на уровне (25 ± 2) °С или на уровне выбранного значения температуры для определения наихудших условий затенения, а также на уровне (55 ± 15) °С при длительном освещении в конце испытаний.

Если необходимо, средства поддержания температуры эталонного фотоэлектрического прибора, с точностью ±1 °С и повторяемостью ± 0,5 °С.

к) Средства для измерения температуры окружающей среды с точностью не менее ±1 °С и повторяемостью ±0,5 °С.

л) Средства затенения фотоэлектрических элементов в испытуемых образцах (набор непрозрачных экранов и т. п.). Требования к средствам затенения определяются технологией изготовления испытуемого образца и указаны в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

м) Прибор для измерения тока.

н) Средства измерения ВАХ испытуемого образца помимо указанных выше.

4.6.3 Испытание модулей, изготовленных из фотоэлектрических элементов на полупроводниковой пластине

4.6.3.1 Общие положения

Если шунтирующие диоды можно удалить, фотоэлектрические элементы с шунтирующими повреждениями могут быть выявлены с помощью приложения к фотоэлектрической цепочке обратного смещения и регистрации с помощью тепловизора области/областей перегрева.

Если имеется доступ к электрическим цепям испытуемого образца, токи через затененный фотоэлектрический элемент могут быть измерены непосредственно [см. 4.6.3.2, этап 11, вариант а)].

Если у испытуемых образцов шунтирующие диоды не могут быть сняты или отсутствует доступ к электрическим цепям испытуемого образца, применяют неразрушающий метод, основанный на получении семейства ВАХ испытуемого образца при поочередном полном затенении каждого фотоэлектрического элемента (см. 4.6.3.2).

Если испытание выполняют с использованием замещающих образцов, такие образцы должны иметь такое же количество фотоэлектрических элементов на один шунтирующий диод, что и полноразмерный фотоэлектрический модуль. В зависимости от результирующего размера выборки это требование может повлиять на выбор источника излучения, необходимого для проведения испытания.

Для всех технологий выбор размеров и местоположения затенения осуществляют в диапазоне энергетической освещенности рабочей поверхности образцов от 800 до 1100 Вт/м^2. Следует избегать попадания освещения с краев на затененный фотоэлектрический элемент.

Если спектральная чувствительность эталонного фотоэлектрического прибора не идентична спектральной чувствительности испытуемого образца, проводят коррекцию ВАХ с учетом поправки на спектральное несоответствие (см. [14]).

4.6.3.2 Проведение испытания на основе неразрушающего метода

1) Устанавливают все средства защиты испытуемого образца от местного перегрева, рекомендованные изготовителем (не считая шунтирующих диодов).

2) Устанавливают средства измерения температуры испытуемого образца (например, см. 4.2.3).

3) Устанавливают испытуемый образец в соответствии с рекомендациями изготовителя и устанавливают средства поддержания температуры испытуемого образца, если необходимо.

Если испытания проводят при естественном солнечном освещении, устанавливают испытуемый образец и эталонный фотоэлектрический прибор на двухосевой системе слежения таким образом, чтобы рабочие поверхности испытуемого образца и эталонного прибора были копланарны.

4) Устанавливают и подключают измерительные приборы.

5) Освещают рабочую поверхность испытуемого образца при выбранном значении суммарной энергетической освещенности в диапазоне от 800 до 1100 Вт/м^2 с помощью одного из источников освещения, указанных в 4.6.2. Отклонение энергетической освещенности от выбранного значения должно быть в пределах ±2 %.

Если необходимо, устанавливают требуемое значение температуры испытуемого образца.

При выборе фотоэлектрических элементов и наихудших условий затенения (этапы 6, 7, 11) с использованием импульсного имитатора солнечного излучения температура испытуемого образца должна составлять (25 ± 5) °С. При проведении испытания с использованием имитатора солнечного излучения непрерывного действия и при естественном солнечном освещении достаточно поддерживать выбранное значение температуры испытуемого образца с отклонением в пределах ±5 °С.

В течение всего времени проведения испытаний температура испытуемых образцов должна оставаться на указанном уровне.

6) После того, как температура испытуемого образца стабилизировалась измеряют ВАХ незатененного испытуемого образца и определяют ток испытуемого образца в точке максимальной мощности I_{max}.

При испытании двусторонних образцов ВАХ незатененного испытуемого образца измеряют при выбранных значениях энергетической освещенности в диапазоне (1000 ± 50) Вт/м^2 для лицевой поверхности и (300 ± 50) Вт/м^2 для тыльной поверхности образца одновременно или, если нет возможности обеспечить двустороннюю освещенность образцов, при выбранном значении энергетической освещенности в диапазоне ±50 Вт/м^2 от эквивалентной односторонней освещенности с лицевой стороны (см. [10]). Если используют эквивалентное одностороннее освещение, тыльную поверхность образцов полностью затеняют таким образом, чтобы вклад от поступающего на нее излучения был не более вклада от неактивной поверхности (см. [10]).

7) По очереди полностью затеняют все фотоэлектрические элементы, измеряют ВАХ при тех же условиях и получают итоговое семейство кривых, подобно приведенным на рисунке 2. Кривая с наибольшим током утечки (при наибольшем нагреве элемента) в точке включения шунтирующего диода соответствует затенению фотоэлектрического элемента с наименьшим шунтирующим сопротивлением. Кривая с наименьшим током утечки в точке включения шунтирующего диода соответствует затенению фотоэлектрического элемента с наибольшим шунтирующим сопротивлением.

Примечание — Для последовательно-параллельного соединения фотоэлектрических элементов, защищаемых одним шунтирующим диодом, искажение ВАХ испытуемого образца добавляется к частичной ВАХ полностью освещенной фотоэлектрической цепочки и, таким образом, ВАХ при затенении отдельных элементов начинается не от значения напряжения холостого хода испытуемого образца.

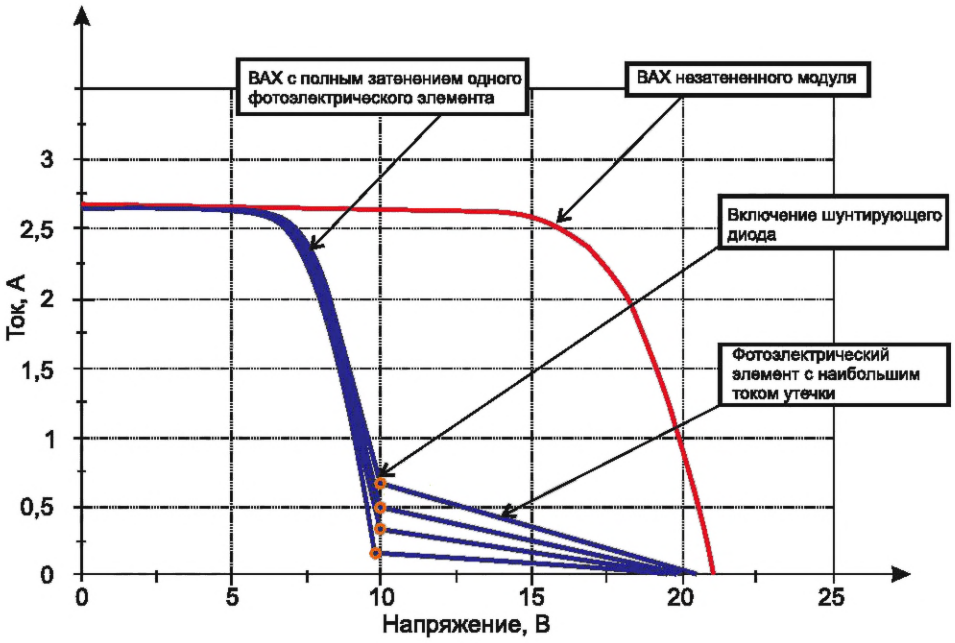


Рисунок 2 — Пример ВАХ фотоэлектрического модуля с полным затенением разных фотоэлектрических элементов

При испытании двусторонних образцов, если используется двустороннее освещение, полностью затеняют как переднюю, так и заднюю стороны элемента.

8) Выбирают ближайший к краю фотоэлектрический элемент с наименьшим шунтирующим сопротивлением, т. е. тот, у которого наблюдается наибольший ток утечки.

9) Выбирают еще два фотоэлектрических элемента с наибольшими токами утечки (в дополнение к выбранному на этапе 8).

10) Выбирают фотоэлектрический элемент с наименьшим током утечки.

В двусторонних образцах также определяют фотоэлектрические элементы, которые постоянно затенены конструкцией с тыльной стороны (например, распределительной коробкой или задними направляющими), что может повлиять на рабочую температуру элементов. Если в образце таким образом затенен один элемент, выбирают этот элемент. Если в образце таким образом затенено более одного элемента, выбирают элемент с наименьшим шунтирующим сопротивлением.

11) Для каждого из выбранных на этапах 8—10 фотоэлектрических элементов определяют наихудшие условия затенения (условия наибольшего нагрева) при помощи одного из следующих способов:

а) если имеется доступ к электрическим цепям испытуемого образца, закорачивают его выводы и присоединяют средства измерения тока таким образом, чтобы измерялся только ток цепочки с выбранным(и) фотоэлектрическим(и) элементом(ами). Освещают рабочую поверхность испытуемого образца при выбранных на этапе 6 значениях энергетической освещенности и температуры испытуемого образца. Изменяя затенение поочередно каждого из выбранных фотоэлектрических элементов определяют тот уровень затенения, при котором ток через затененный элемент равен току незатененного испытуемого образца I_{max}, определенному на этапе 6. Такое затенение является наихудшим случаем затенения для этого фотоэлектрического элемента.

б) если доступ к электрическим цепям испытуемого образца невозможен, первый способ — получение семейства ВАХ для различного уровня затенения выбранных элементов (см. рисунок 3). Рабочую поверхность испытуемого образца освещают при выбранных на этапе 6 значениях энергетической освещенности и температуры испытуемого образца, снимают ВАХ фотоэлектрического модуля при разных уровнях затенения фотоэлектрического элемента. По полученному семейству ВАХ определяют условия наихудшего затенения этого элемента: при наихудшем затенении в точке, в которой происходит включение шунтирующего диода, ток через затененный фотоэлектрический элемент равен току незатененного испытуемого образца в точке максимальной мощности I_{max}, определенном на этапе 6 [кривая в) на рисунке 3].

Если шунтирующий диод не включается, когда выбранный элемент полностью затенен, наихудшим случаем затенения является случай полного затенения элемента.

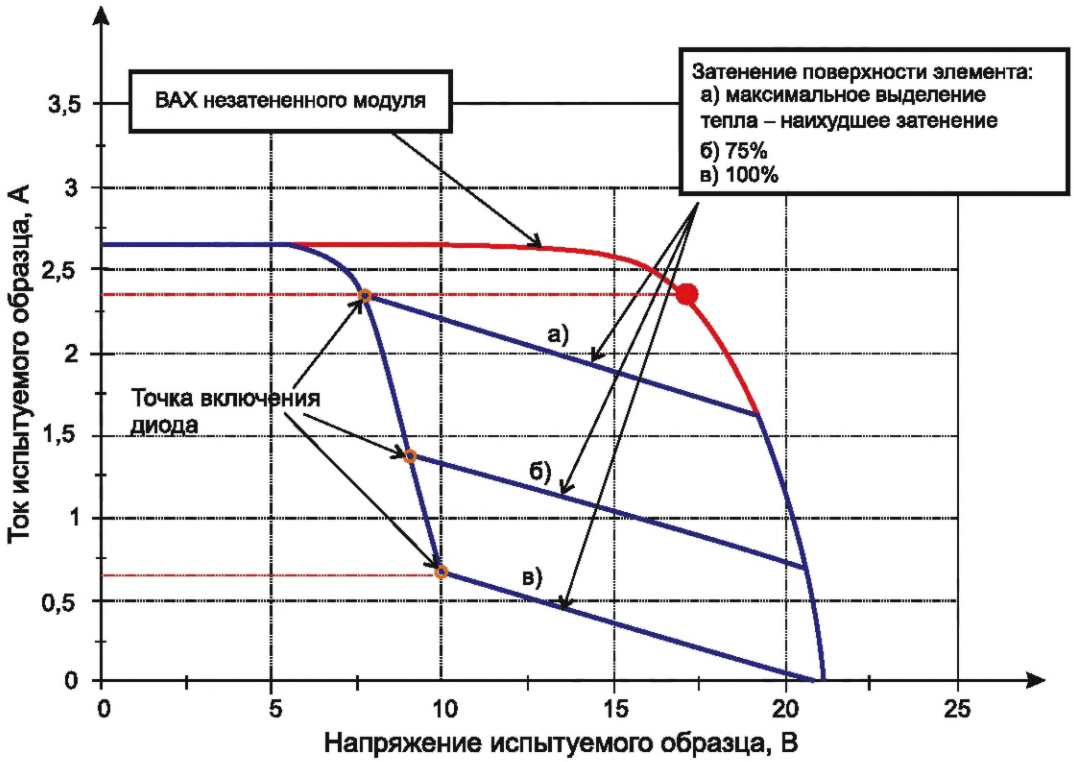


Рисунок 3 — Пример ВАХ фотоэлектрического модуля при различных уровнях затенения элемента

в) если доступ к электрическим цепям испытуемого образца невозможен, второй способ определения наихудшего случая затенения — измерение температуры испытуемого образца. Закорачивают выводы испытуемого образца. Освещают рабочую поверхность испытуемого образца при энергетической освещенности от 800 до 1000 Вт/м^2. Выполняют 100 %-ное затенение фотоэлектрического элемента и измеряют его температуру. Уменьшают затенение на 10 %. Если температура снижается, то 100 %-ное затенение является наихудшими условиями затенения. Если температура растет или остается той же, продолжают уменьшать затенение с шагом 10 % до того момента, когда температура начнет снижаться. Возвращаются на шаг назад и принимают предыдущий уровень затенения в качестве наихудшего варианта затенения.

Если шунтирующий диод не включается, когда выбранный элемент полностью затенен, наихудшим случаем затенения является случай полного затенения элемента.

г) Для фотоэлектрического элемента, выбранного на этапе 8, дополнительно определяют положение экрана при наихудшем затенении. Закорачивают выводы испытуемого образца (если это не было сделано ранее), полностью затеняют фотоэлектрический элемент и определяют наиболее горячую область с помощью тепловизора. Эта область является наихудшим вариантом затенения. Если возможно, следует убедиться, что наиболее горячая область расположена в освещенной зоне во время длительного воздействия освещением на этапе 15.

12) Закорачивают выводы испытуемого образца, если это не было сделано ранее.

13) Затеняют один из выбранных фотоэлектрических элементов по наихудшему варианту, определенному на этапе 11.

Если на этапе 15 для двустороннего испытуемого образца будет использоваться двухстороннее освещение, элемент должен иметь идентичный экран на тыльной поверхности.

14) Устанавливают температуру испытуемого образца на уровне (55 ± 15) °С.

15) Освещают рабочую поверхность испытуемого образца при энергетической освещенности (1000 ± 100) Вт/м^2 в течение 1 ч, сохраняя условия наихудшего затенения элемента и непрерывно кон-

тролируя его температуру с помощью тепловизора. Если по прошествии 1 ч температура затененного элемента все еще возрастает, продолжают освещать испытуемый образец в течение 5 ч.

При испытании двусторонних образцов освещают одновременно лицевую поверхность образца при энергетической освещенности в диапазоне (1000 ± 100) Вт/м^2 и тыльную поверхности при энергетической освещенности в диапазоне (300 ± 50) Вт/м^2 для образца или, если нет возможности обеспечить освещение с двух сторон, освещают лицевую поверхность при эквивалентной освещенности ±50 Вт/м^2 (см. [10]).

В течение всего времени воздействия освещением поддерживают температуру испытуемого образца на уровне (55 ± 10) °С.

16) Последовательно повторяют этапы 13—15 для остальных фотоэлектрических элементов, выбранных на этапах 8—10.

Фиксируют выбранные фотоэлектрические элементы, максимальную установившуюся температуру фотоэлектрического элемента и область с максимальной температурой в протоколе испытаний.

4.6.4 Испытание монолитных тонкопленочных фотоэлектрических модулей

4.6.4.1 Общие положения

На электрические характеристики тонкопленочных фотоэлектрических модулей может отрицательно повлиять даже кратковременное затенение. Следует уделить особое внимание тому, чтобы эффекты, вызванные созданием наихудших условий затенения и проведением испытания, были четко разделены. С этой целью определяют значения максимальной мощности испытуемого образца P_{max1} и P_{max2}.

Примечания

1 Обычно в электрические цепи тонкопленочных фотоэлектрических модулей с последовательным соединением фотоэлектрических элементов шунтирующие диоды не устанавливаются. Поэтому обратное напряжение затененных элементов не ограничено и напряжение модуля может вызвать обратное смещение на группе элементов.

2 Монолитными называют тонкопленочные фотоэлектрические модули из физически не разделяемых элементов.

Если спектральная чувствительность эталонного фотоэлектрического прибора не идентична спектральной чувствительности испытуемого образца, проводят коррекцию ВАХ с учетом поправки на спектральное несоответствие (см. [14]).

4.6.4.2 Последовательное соединение фотоэлектрических элементов

На рисунке 4 показан пример влияния на ВАХ монолитного тонкопленочного фотоэлектрического модуля с последовательным соединением фотоэлектрических элементов полного затенения разного количества фотоэлектрических элементов. Мощность, рассеиваемая в затененных элементах, равна произведению тока фотоэлектрического модуля на напряжение, падающее на группе затененных элементов. При всех уровнях энергетической освещенности наибольшая мощность рассеивается, когда напряжение группы затененных элементов равно напряжению, создающемуся на остальных освещенных элементах фотоэлектрического модуля (условие наихудшего затенения). В этом случае ток короткого замыкания затененного модуля равен току незатененного модуля в точке максимальной мощности.

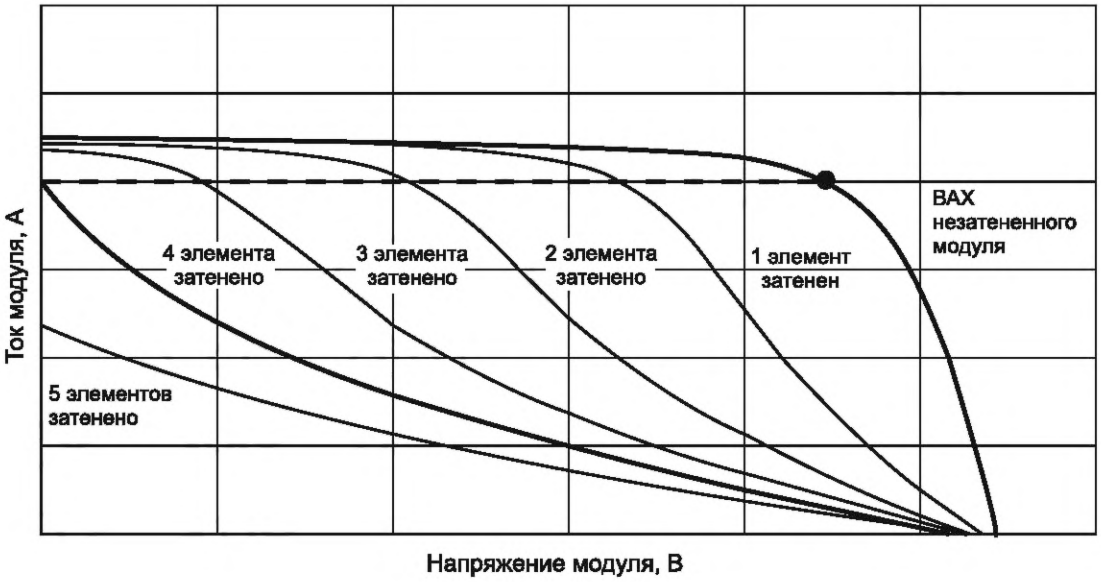


Рисунок 4 — Пример ВАХ монолитного тонкопленочного модуля с последовательным соединением фотоэлектрических элементов при затенении разного количества элементов

Примечание — На рисунке 4 наихудшим затенением является одновременное затенение четырех элементов.

Испытание проводят следующим образом.

1) Устанавливают все средства защиты испытуемого образца от местного перегрева, рекомендованные изготовителем (не считая шунтирующих диодов).

2) Устанавливают средства измерения температуры испытуемого образца (см., например, 4.2.3).

3) Устанавливают испытуемый образец в соответствии с рекомендациями изготовителя и средства поддержания температуры испытуемого образца, если необходимо.

Если испытания проводят при естественном солнечном освещении, испытуемый образец и эталонный фотоэлектрический прибор устанавливают на двухосевой системе слежения таким образом, чтобы рабочие поверхности испытуемого образца и эталонного прибора были копланарны.

4) Устанавливают и подключают измерительные приборы.

5) Освещают рабочую поверхность испытуемого образца при выбранном значении суммарной энергетической освещенности в диапазоне от 800 до 1100 Вт/м^2 с помощью одного из источников освещения, указанных в 4.6.2. Отклонение энергетической освещенности от выбранного значения должно быть в пределах ±2 %.

Если необходимо, устанавливают требуемое значение температуры испытуемого образца.

При определении размеров экрана и области затенения (этапы 6, 8, 9) с использованием импульсного имитатора солнечного излучения температура испытуемого образца должна составлять (25 ± 5) °С. При проведении испытания с использованием имитатора солнечного излучения непрерывного действия и при естественном солнечном освещении достаточно поддерживать выбранное значение температуры испытуемого образца с отклонением в пределах ±5 °С.

В течение всего времени проведения испытаний температура испытуемых образцов должна оставаться на указанном уровне.

6) После того как температура испытуемого образца стабилизировалась измеряют ВАХ незатененного испытуемого образца и определяют максимальную мощность P_{max1}, ток испытуемого образца в точке максимальной мощности I_{mpp1} и диапазон тока в точке максимальной мощности ($I_{min} < I < I_{max}$), где I_{max} — ток в точке максимальной мощности незатененного испытуемого образца, $I_{max} = I_{mpp1}$ и $I_{min} = 0{,}95I_{max} = 0{,}95I_{mpp1}$. Этот диапазон будет допустимым диапазоном тока в точке максимальной мощности для испытаний I(*).

7) Закорачивают выводы испытуемого образца.

8) Определяют ширину экрана для создания условий наихудшего затенения следующим образом.

С одного края испытуемого образца, при помощи непрозрачного экрана полностью затеняют один фотоэлектрический элемент и измеряют ток короткого замыкания. Перемещая экран параллельно элементам, пошагово увеличивают затененную область (количество затененных элементов) и измеряют ток короткого замыкания.

Измерения проводят при значениях суммарной энергетической освещенности и температуры испытуемого образца, при которых измеряли ВАХ незатененного образца на этапе 6. Отклонение суммарной энергетической освещенности от выбранного значения в процессе измерений должно быть не более ±2 %.

Затененную область увеличивают до тех пор, пока ток короткого замыкания не попадет в диапазон тока максимальной мощности незатененного испытуемого образца $I(*)$. В этом случае в выделенной группе элементов рассеивается наибольшая мощность (см. рисунок 4), и ширина экрана для этого случая будет шириной экрана для дальнейшего проведения испытания.

Максимальный размер шага между измерениями тока короткого замыкания равен ширине фотоэлектрического элемента.

Минимальная ширина экрана составляет две ширины элемента (с промежутком между ними). Если для получения тока в указанном диапазоне требуется затенение менее двух элементов, ширину экрана фиксируют на этом уровне и прекращают перемещение экрана. Если затенение n элементов приводит к слишком большому току, а затенение $n + 1$ элементов — к слишком низкому, должна быть выбрана меньшая из двух вариантов ширина экрана (т. е. когда затенено n элементов).

9) Медленно перемещают экран установленной выше ширины перпендикулярно к направлению перемещения испытуемого образца на предыдущем этапе и регистрируют ток короткого замыкания на каждом шаге. Экран должен быть расположен относительно сторон испытуемого образца так же, как и на предыдущем шаге.

Измерения проводят при значениях суммарной энергетической освещенности и температуры испытуемого образца, при которых измеряли ВАХ незатененного образца на этапе 6. Отклонение суммарной энергетической освещенности от выбранного значения должно находиться в пределах ±2 %.

Если при каком-то положении экрана значение тока короткого замыкания будет ниже диапазона тока максимальной мощности незатененного испытуемого образца $I(*)$, уменьшают площадь экрана с шагом в один фотоэлектрический элемент до тех пор, пока ток короткого замыкания снова не окажется в диапазоне $I(*)$.

Максимальный размер шага между измерениями тока короткого замыкания равен ширине экрана. Таким образом, каждый фотоэлектрический элемент в испытуемом образце будет затенен в процессе измерений.

Если при каком-то положении экрана его ширина будет равна минимально допустимому значению — ширине двух фотоэлектрических элементов (плюс промежуток между ними), его размер больше не уменьшают и перемещение экрана прекращают. Если затенение n элементов приводит к слишком большому току, а затенение $n + 1$ элементов — к слишком низкому, должна быть выбрана меньшая из двух вариантов ширина экрана (т. е. когда затенено n элементов).

Полученные размеры экрана не допускается увеличивать при дальнейшем проведении испытания.

Окончательные размеры экрана определяют минимальную площадь затенения, создающего условия наихудшего затенения.

10) Удаляют экран и осматривают испытуемый образец.

Примечание — Функционирование элементов при обратном смещении в измерениях на этапах 8 и 9 может вызвать повреждение переходов и появление видимых пятен, разбросанных по поверхности испытуемого образца. Эти дефекты могут привести к снижению максимальной мощности.

11) Повторяют измерение ВАХ испытуемого образца при тех же условиях по суммарной энергетической освещенности и температуре испытуемого образца, что и на этапе 6, и определяют максимальную мощность P_{max2}.

12) Закорачивают выводы испытуемого образца. Подключают приборы измерения тока, если они не подключены.

13) Помещают экран, размер которого определен на этапах 8 и 9, на предполагаемую область наихудшего затенения на поверхности испытуемого образца, определенную на этих этапах.

14) Этап проводят при естественном солнечном освещении или используя имитатор солнечного излучения непрерывного действия.

Стабилизируют температуру испытуемого образца в пределах ±5 °С.

Устанавливают температуру испытуемого образца на уровне (55 ± 15) °С и освещают его рабочую поверхность при суммарной энергетической освещенности (1000 ± 100) Вт/м^2.

Регистрируют значение тока короткого замыкания испытуемого образца и при необходимости регулируют размер и положение экрана так, чтобы испытуемый образец находился в состоянии рассеяния наибольшей мощности, т. е. чтобы ток короткого замыкания испытуемого образца находился в диапазоне тока в точке максимальной мощности незатененного испытуемого образца $I(*)$. Если значение тока короткого замыкания становится ниже нижнего предельного значения диапазона I_{min}, уменьшают ширину экрана с шагом в один элемент, пока значение тока короткого замыкания не превысит I_{min}. Если экран уже имеет минимальную ширину (равную ширине двух фотоэлектрических элементов с промежутком между ними), регулировку не проводят.

15) Поддерживают эти условия освещения в течение одного часа, регистрируя значение тока короткого замыкания испытуемого образца и при необходимости корректируя положение экрана так, чтобы ток короткого замыкания испытуемого образца оставался в диапазоне $I(*)$.

16) Определяют наиболее горячую область на затененных элементах и ее температуру с помощью тепловизора.

Фиксируют полученную температуру, положение наиболее горячей области на испытуемом образце и ее размеры в протоколе испытаний.

4.6.4.3 Последовательно-параллельное соединение фотоэлектрических элементов

Испытание проводят следующим образом.

1) Устанавливают все средства защиты испытуемого образца от местного перегрева, рекомендованные изготовителем (не считая шунтирующих диодов).

2) Устанавливают средства измерения температуры испытуемого образца (см., например, 4.2.3).

3) Устанавливают испытуемый образец в соответствии с рекомендациями изготовителя и устанавливают средства поддержания температуры испытуемого образца, если необходимо.

Если испытания проводят при естественном солнечном освещении, устанавливают испытуемый образец и эталонный фотоэлектрический прибор на двухосевой системе слежения таким образом, чтобы рабочие поверхности испытуемого образца и эталонного прибора были копланарны.

4) Устанавливают и подключают измерительные приборы.

5) Освещают рабочую испытуемого образца поверхность при выбранном значении суммарной энергетической освещенности в диапазоне от 800 до 1100 Вт/м^2 с отклонением в пределах ±2 % от выбранного значения с помощью одного из источников освещения, указанных в 4.6.2.

Если необходимо, устанавливают требуемое значение температуры испытуемого образца.

При определении размеров экрана и области затенения (этапы 6, 10, 11) с использованием импульсного имитатора солнечного излучения температура испытуемого образца должна составлять (25 ± 5) °С. При проведении испытания с использованием имитатора солнечного излучения непрерывного действия и при естественном солнечном освещении достаточно поддерживать выбранное значение температуры испытуемого образца с отклонением в пределах ±5 °С.

В течение всего времени проведения испытаний температура испытуемых образцов должна оставаться на указанном уровне.

6) После того как температура испытуемого образца стабилизировалась измеряют ВАХ незатененного испытуемого образца и определяют максимальную мощность P_{max1}, ток испытуемого образца в точке максимальной мощности I_{max1} и диапазон тока в точке максимальной мощности ($I_{min} < I < I_{max}$), где I_{max} — ток в точке максимальной мощности незатененного испытуемого образца, $I_{max} = I_{mpp1}$ и $I_{min} = 0{,}95 I_{max} = 0{,}95 I_{mpp1}$.

7) Определяют допустимый диапазон тока в точке максимальной мощности для испытаний $I(*)$

$$\frac{I_{min}}{p} + \frac{I_{к.з}(p-1)}{p} < I(*) < \frac{I_{max}}{p} + \frac{I_{к.з}(p-1)}{p}, \quad (7)$$

где p — количество параллельно соединенных фотоэлектрических цепочек в испытуемом образце (см. В.2, приложение В).

8) Выбирают фотоэлектрическую цепочку, которая, вероятно, будет нагреваться больше всего во время продолжительной нагрузки.

Если за частью рабочей поверхности испытуемого образца находится коммутационная коробка, выбирают ту цепочку, наибольшую часть которой сзади закрывает коммутационная коробка. Если область коммутационной коробки поровну разделена между двумя цепочками или испытуемый образец содержит две коммутационные коробки на двух разных цепочках, в обоих случаях выбирают любую из

двух цепочек. Если коммутационная коробка не расположена за рабочей поверхностью испытуемого образца (например, коммутационная коробка расположена в области торцов), выбирают цепочку, которая находится перед самой большой частью паспортной таблички испытуемого образца. Если никакая часть коммутационной коробки или паспортной таблички не расположена позади рабочей поверхности испытуемого образца, выбирают цепочку, ближайшую к геометрическому центру образца.

9) Закорачивают выводы испытуемого образца.

10) Определяют ширину экрана для создания условий наихудшего затенения.

С одного края испытуемого образца при помощи непрозрачного экрана полностью затеняют один фотоэлектрический элемент выбранной фотоэлектрической цепочки и измеряют ток короткого замыкания. Перемещая экран, пошагово увеличивают область затенения выбранной цепочки (количество затененных элементов) и измеряют ток короткого замыкания до тех пор, пока ток короткого замыкания не попадет в допустимый диапазон тока максимальной мощности незатененного испытуемого образца $I(*)$. При этих условиях затенения в выделенной группе элементов рассеивается наибольшая мощность.

Измерения проводят при значениях суммарной энергетической освещенности и температуры испытуемого образца, при которых измеряли ВАХ незатененного образца на этапе 6. Отклонение суммарной энергетической освещенности от выбранного значения должно находиться в пределах ±2 %.

Максимальный размер шага между измерениями тока короткого замыкания равен ширине фотоэлектрического элемента.

Минимальная ширина экрана составляет две ширины элемента (с промежутком между ними). Если для получения тока в указанном диапазоне требуется затенение менее двух элементов, ширину экрана фиксируют на этом уровне и прекращают перемещение экрана. Если затенение n элементов приводит к слишком большому току, а затенение $n + 1$ элементов — к слишком низкому, должна быть выбрана меньшая из двух вариантов ширина экрана (т. е. когда затенено n элементов).

11) Медленно перемещают экран установленной выше ширины перпендикулярно к направлению перемещения испытуемого образца на предыдущем этапе и регистрируют ток короткого замыкания на каждом шаге. Экран должен быть расположен относительно сторон испытуемого образца так же, как и на предыдущем шаге.

Измерения проводят при значениях суммарной энергетической освещенности и температуры испытуемого образца, при которых измеряли ВАХ незатененного образца на этапе 6. Отклонение суммарной энергетической освещенности от выбранного значения должно находиться в пределах ±2 %.

Если при каком-то положении экрана значение тока короткого замыкания будет ниже диапазона тока максимальной мощности незатененного испытуемого образца $I(*)$, уменьшают площадь экрана с шагом в один фотоэлектрический элемент до тех пор, пока ток короткого замыкания снова не окажется в диапазоне $I(*)$.

Если ток короткого замыкания превышает верхний предел $I(*)$, ширина экрана должна оставаться такой же.

Максимальный размер шага между измерениями тока короткого замыкания равен ширине экрана. Таким образом, каждый фотоэлектрический элемент в испытуемом образце будет затенен в процессе измерений.

Если при каком-то положении экрана его ширина будет равна минимально допустимому значению — ширине двух фотоэлектрических элементов (плюс промежуток между ними), его размер больше не уменьшают и перемещение экрана прекращают. Если затенение n элементов приводит к слишком большому току, а затенение $n + 1$ элементов — к слишком низкому, должна быть выбрана меньшая из двух вариантов ширина экрана (т. е. когда затенено n элементов).

Полученные размеры экрана не допускается увеличивать при дальнейшем проведении испытания.

Конечная ширина экрана вместе с его положением на фотоэлектрической цепочке, которая показывала наименьший ток каждой области, затененной экраном окончательной ширины, определяет минимальную площадь наихудшего затенения. Это размер экрана и область затенения, которые будут использоваться для определения стойкости к местному перегреву.

12) Удаляют экран и осматривают испытуемый образец.

Примечание — Функционирование элементов при обратном смещении в измерениях на этапах 10 и 11 может вызвать повреждение переходов и появление видимых пятен, разбросанных по поверхности испытуемого образца. Эти дефекты могут привести к снижению максимальной мощности.

13) Повторяют измерение ВАХ испытуемого образца при тех же условиях по суммарной энергетической освещенности и температуре испытуемого образца, что и на этапе 6, и определяют максимальную мощность P_{max2}.

14) Закорачивают выводы испытуемого образца. Подключают приборы измерения тока, если они не подключены.

15) Помещают экран, размер которого определен на этапах 10 и 11, на предполагаемую область наихудшего затенения на поверхности испытуемого образца, определенную на этих этапах.

16) Этап проводят при естественном солнечном освещении или с использованием имитатора солнечного излучения непрерывного действия.

Стабилизируют температуру испытуемого образца в пределах ±5 °С.

Устанавливают температуру испытуемого образца на уровне (55 ± 15) °С и освещают его рабочую поверхность при суммарной энергетической освещенности (1000 ± 100) Вт/м^2.

Регистрируют значение тока короткого замыкания испытуемого образца и при необходимости регулируют размер и положение экрана так, чтобы испытуемый образец находился в состоянии рассеяния наибольшей мощности, т. е. чтобы ток короткого замыкания испытуемого образца находился в диапазоне тока в точке максимальной мощности незатененного испытуемого образца I(*). Если значение тока короткого замыкания становится ниже нижнего предельного значения диапазона I_{min}, уменьшают ширину экрана с шагом в один элемент, пока значение тока короткого замыкания не превысит I_{min}. Если экран уже имеет минимальную ширину (равную ширине двух фотоэлектрических элементов с промежутком между ними), регулировку не проводят.

17) Поддерживают эти условия освещения в течение одного часа, регистрируя значение тока короткого замыкания испытуемого образца и при необходимости корректируя положение экрана так, чтобы ток короткого замыкания испытуемого образца оставался в диапазоне I(*).

18) Определяют наиболее горячую область на затененных элементах и ее температуру с помощью тепловизора.

Фиксируют полученную температуру, положение наиболее горячей области на испытуемом образце и ее размеры в протоколе испытаний.

4.6.4.4 Параллельно-последовательное соединение фотоэлектрических элементов

Если в модуле с параллельно-последовательным соединением фотоэлектрических элементов отсутствует доступ к внутренним электрическим цепям, и он не содержит внутренних шунтирующих диодов или аналогичных средств защиты от обратного смещения, испытание проводят следующим образом.

1) Устанавливают все средства защиты испытуемого образца от местного перегрева, рекомендованные изготовителем (не считая шунтирующих диодов).

2) Устанавливают средства измерения температуры испытуемого образца (см., например, 4.2.3).

3) Устанавливают испытуемый образец в соответствии с рекомендациями изготовителя и устанавливают средства поддержания температуры испытуемого образца, если необходимо.

Если испытания проводят при естественном солнечном освещении, устанавливают испытуемый образец и эталонный фотоэлектрический прибор на двухосевой системе слежения таким образом, чтобы рабочие поверхности испытуемого образца и эталонного прибора были копланарны.

4) Устанавливают и подключают измерительные приборы.

5) Освещают его рабочую поверхность при выбранном значении суммарной энергетической освещенности в диапазоне от 800 до 1100 Вт/м^2 с отклонением в пределах ±2 % от выбранного значения с помощью одного из источников освещения, указанных в 4.6.2.

Если необходимо, устанавливают требуемое значение температуры испытуемого образца.

При выполнении следующего этапа с использованием импульсного имитатора солнечного излучения температура испытуемого образца должна составлять (25 ± 5) °С. При проведении испытания с использованием имитатора солнечного излучения непрерывного действия и при естественном солнечном освещении достаточно поддерживать выбранное значение температуры испытуемого образца с отклонением в пределах ±5 °С.

В течение всего времени проведения испытаний температура испытуемых образцов должна оставаться на указанном уровне.

6) После того, как температура испытуемого образца стабилизировалась измеряют ВАХ испытуемого образца и определяют максимальную мощность P_{max1} и ток испытуемого образца в точке максимальной мощности I_{max}.

7) Закорачивают выводы испытуемого образца.

8) Устанавливают испытуемый образец на имитаторе солнечного излучения непрерывного действия (если он не был установлен ранее) и затеняют произвольным образом не менее 10 % каждой группы параллельно соединенных фотоэлектрических элементов (см. рисунок *3*).

9) Устанавливают температуру испытуемого образца на уровне (55 ± 15) °С и освещают его рабочую поверхность при суммарной энергетической освещенности (1000 ± 100) Вт/м^2.

10) Увеличивают область затенения каждой группы, пока по показаниям тепловизора не будет достигнута максимальная температура.

Размер и положение затенения, при котором достигнута максимальная температура, соответствуют условиям наихудшего затенения.

11) Удаляют экран и осматривают испытуемый образец.

Примечание — Функционирование элементов при обратном смещении в измерениях на этапах 8 и 9 может вызвать повреждение переходов и появление видимых пятен, разбросанных по поверхности испытуемого образца. Эти дефекты могут привести к снижению максимальной мощности.

12) Повторяют измерение ВАХ испытуемого образца при тех же условиях по суммарной энергетической освещенности и температуре испытуемого образца, что и на этапе 6, и определяют максимальную мощность P_{max2}.

13) Создают условия наихудшего затенения, определенные на этапе 10, и освещают рабочую поверхность испытуемого образца при суммарной энергетической освещенности (1000 ± 100) Вт/м^2 и температуре испытуемого образца (55 ± 15) °С в течение 1 ч.

14) Определяют наиболее горячую область затененных элементов с помощью тепловизора.

Фиксируют полученную температуру, положение наиболее горячей области на испытуемом образце и ее размеры в протоколе испытаний.

4.6.5 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемого образца проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- измерение ВАХ и определение максимальной мощности при СУИ по 4.2.3; или, для двусторонних образов, при стандартных условиях двусторонней освещенности по 4.2.6;
- определение сопротивления изоляции по 4.3;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12.

Все повреждения, полученные при определении состояния наихудшего затенения, следует зафиксировать в протоколе испытаний.

4.6.6 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8, особенно плавление пайки, повреждение герметизации, отслоения и признаки прогара. При наличии серьезных повреждений, которые не подпадают под определение видимых функциональных повреждений в соответствии с ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8, повторяют испытания с двумя дополнительными фотоэлектрическими элементами того же испытуемого образца. При отсутствии видимых функциональных повреждений вокруг этих двух элементов испытуемый образец считают выдержавшим испытания;
- испытуемый образец сохраняет электрические характеристики работоспособного фотоэлектрического модуля. На результаты данного испытания не распространяются требования к предельно допустимой деградации мощности, указанные в ГОСТ 35322.1—2025, пункт 7.2.2;
- сопротивление изоляции отвечает требованиям 4.3.6;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

4.7 Испытание на воздействие ультрафиолетового излучения

4.7.1 Назначение

Испытание предназначено для оценки стойкости к воздействию УФ-излучения материалов (пластиков и пр.) и изготовленных из них компонентов (защитные покрытия, клеевые соединения и пр.) испытуемых фотоэлектрических модулей, а также для выявления возможных повреждений испытуемых образцов, связанных с воздействием УФ-излучения.

4.7.2 Испытательное оборудование

а) Испытательная климатическая камера с автоматическим управлением температурой, средствами обеспечения внутренней циркуляции воздуха и с окном или приспособлениями для установки

источника УФ-излучения, а также с приспособлениями для установки испытуемых образцов (если они предусмотрены в комплектации камеры). Камера должна обеспечивать поддержание температуры испытуемого образца на уровне (60 ± 5) °С в сухих условиях.

б) Источник УФ-излучения, обеспечивающий однородность энергетической освещенности по плоскости рабочей поверхности испытуемого образца ±15 %, имеющий незначительную энергетическую освещенность в спектре короче 280 нм и позволяющий получить необходимую суммарную энергетическую экспозицию в требуемых диапазонах в соответствии с 4.7.3.

В протоколе испытаний следует указать используемый источник УФ-излучения и спектр ламп(ы), если ее(их) использовали.

в) Приспособления для установки испытуемых образцов в испытательной климатической камере, обеспечивающие беспрепятственную циркуляцию окружающего воздуха, если они не поставляются вместе с климатической камерой. Теплопроводность стоек и креплений должна быть настолько низкой, чтобы с практической точки зрения испытуемые образцы можно было считать теплоизолированными.

г) Средства измерения и регистрации температуры испытуемого образца с точностью не менее ±2 °С и повторяемостью ±0,5 °С. Если одновременно проводят испытания нескольких испытуемых образцов, достаточно регистрировать температуру только одного типичного испытуемого образца.

д) Откалиброванный радиометр для измерения энергетической освещенности в плоскости рабочей поверхности испытуемого образца в спектральном диапазоне от 280 до 320 нм и от 320 до 385 нм с точностью не менее ±15 %.

е) Активная нагрузка, при которой испытуемый образец работает вблизи точки максимальной мощности, если необходимо (см. 4.7.3, этап 3).

4.7.3 Проведение испытания

1) Используя откалиброванный радиометр, измеряют энергетическую освещенность в плоскости измерений и убеждаются, что:

- во время испытаний в диапазоне длин волн от 280 до 400 нм спектральная энергетическая освещенность никогда не будет превышать 250 Вт/м^2, т. е. не будет более чем в пять раз превышать значение спектральной энергетической освещенности при стандартном спектральном распределении энергетической освещенности АМ 1,5 (см. [16], таблица 1) или примерно пятикратный уровень естественного солнечного освещения;
- в диапазоне длин волн короче 280 нм значимая энергетическая освещенность отсутствует;
- энергетическая освещенность однородна по всей плоскости измерений с отклонением в пределах ±15 %.

2) Устанавливают датчики температуры на лицевой или тыльной стороне примерно в середине испытуемого образца таким образом, чтобы датчики не препятствовали поступлению УФ-излучения на рабочие поверхности фотоэлектрических элементов. Если одновременно проводят испытания нескольких испытуемых образцов, достаточно регистрировать температуру только одного характерного образца.

3) В зависимости от используемого источника УФ-излучения устанавливают перемычку между выводами испытуемого образца или подключают омическую нагрузку, при которой испытуемый образец работает вблизи точки максимальной мощности. Первый вариант следует использовать, если источник УФ-излучения имеет пренебрежимо малую спектральную энергетическую освещенность в видимой области спектра. Второй вариант рекомендуется при использовании источника УФ-излучения, бóльшая часть излучения которого находится в видимой области спектра, в которой мощность испытуемых образцов равна или превышает 20 % измеренной мощности при СУИ.

Устанавливают испытуемый образец в испытательной климатической камере в плоскости измерений, проверенной на этапе 1, таким образом, чтобы его рабочая поверхность была перпендикулярна падающему излучению.

Гибкие фотоэлектрические модули должны быть установлены в плоскости в соответствии с рекомендациями изготовителя с указанными подложкой и клеем или средствами крепления/монтажа.

4) Подключают измерительные приборы.

5) Закрывают испытательную камеру и включают нагрев. Убеждаются, что температура испытуемого образца установилась на уровне (60 ± 5) °С.

6) Поддерживая температуру испытуемого образца в диапазоне (60 ± 5) °С, воздействуют на испытуемый образец УФ-излучением с суммарной энергетической экспозицией не менее 15 кВт·ч/м^2 в диапазоне длин волн между 280 и 400 нм, так чтобы от 3 % до 10 % приходилось на диапазон длин волн между 280 и 320 нм.

7) Если испытывают двусторонние фотоэлектрические модули, переворачивают испытуемый образец и устанавливают его в испытательной климатической камере таким образом, чтобы его тыльная сторона была перпендикулярна лучам падающего УФ-излучения.

Если необходимо, повторяют этап 4.

Повторяют этапы 5 и 6.

4.7.4 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемых образцов проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- измерение ВАХ и определение максимальной мощности при СУИ по 4.2.3 или, для двусторонних образцов, при стандартных условиях двусторонней освещенности по 4.2.6;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12.

4.7.5 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- снижение максимальной выходной мощности при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности) не превышает 5 % значения после начальной стабилизации;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

4.8 Термоциклирование

4.8.1 Назначение

Испытание предназначено для проверки способности фотоэлектрического модуля противостоять перепадам температуры, термической усталости и другим факторам, обусловленным повторяющимися изменениями температуры.

4.8.2 Испытательное оборудование

а) Испытательная климатическая камера с автоматическим управлением температурой, средствами обеспечения внутренней циркуляции воздуха и средствами минимизации образования конденсата на испытуемых образцах при проведении испытаний, обеспечивающая выполнение циклов изменения температуры с одним или несколькими испытуемыми образцами в соответствии с рисунком *5*. Циркуляция воздуха вокруг испытуемых образцов должна обеспечивать выполнение температурных условий для каждого испытуемого образца.

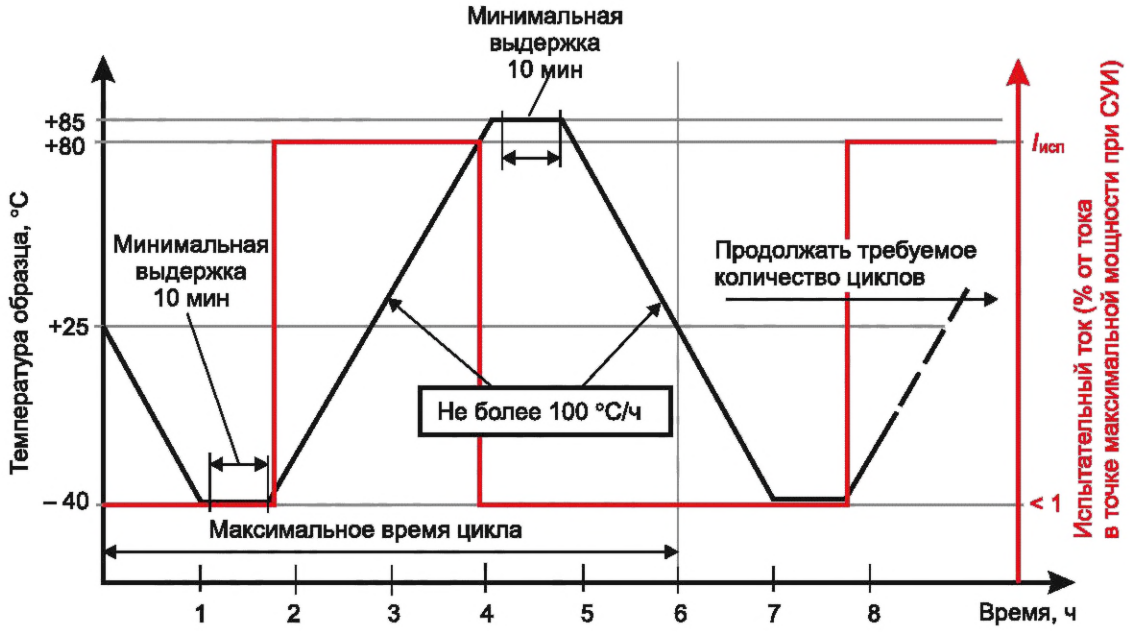


Рисунок 5 — Изменение температуры испытуемого образца и испытательного тока при термоциклировании

б) Приспособления для установки испытуемых образцов в испытательной климатической камере, обеспечивающие беспрепятственную циркуляцию окружающего воздуха. Теплопроводность стоек и креплений должна быть настолько низкой, чтобы с практической точки зрения испытуемые образцы можно было считать теплоизолированными.

Если изготовителем испытуемых образцов предоставлены или описаны специальные приспособления для установки испытуемых образцов в испытательной климатической камере, используют эти приспособления, дополняя или модифицируя их, если необходимо.

в) Средства измерения и регистрации температуры испытуемого образца с точностью не менее ±2,0 °С и повторяемостью ±0,5 °С.

г) Источники питания для создания требуемого значения постоянного тока отдельно на каждом испытуемом образце (см. 4.8.3).

д) Средства контроля обрывов электрической цепи каждого из одновременно испытуемых образцов.

е) Груз(ы) весом 5 Н, который(ые) можно прикрепить к коммутационной(ым) коробке(ам) (см. 4.8.3).

4.8.3 Проведение испытания

1) Устанавливают датчик температуры в середине лицевой или тыльной поверхности испытуемого образца. Если одновременно проводят испытания нескольких испытуемых образцов, достаточно установить датчик только на одном типичном испытуемом образце.

2) Устанавливают испытуемые образцы в испытательной климатической камере. При внесении образца в климатическую камеру образец и камера должны находиться в нормальных условиях лаборатории. Во время внесения образца в камеру следует избегать конденсации влаги на его поверхности.

Если изготовителем указано несколько способов установки испытуемых образцов, испытания для каждого способа должны быть проведены отдельно. Для всех способов монтажа испытуемый образец устанавливают в варианте с наихудшим расположением точек крепления. Как правило, это вариант с наибольшим расстоянием между точками крепления.

Гибкие фотоэлектрические модули должны быть установлены в соответствии с рекомендациями изготовителя с указанными подложкой и клеем или средствами крепления/монтажа.

Интегрированные фотоэлектрические модули устанавливают так же, как в условиях эксплуатации, вместе с внешними по отношению к модулю конструкциями, элементами, материалами или их имитаторами, если они влияют на тепловлажностный режим, работу и свойства испытуемых образцов в условиях эксплуатации. Допускается испытывать интегрированные фотоэлектрические модули без указанных конструкций, элементов и материалов, если режим выдержки обоснованно скорректирован с учетом их влияния на работу модулей (см., например, [19]). Описание всех конструкций, элементов, материалов или их имитаторов, их расположение и т. д. или обоснование корректировки режима выдержки и значения параметров режима должны быть внесены в протокол испытаний.

К коммутационным коробкам прикрепляют груз весом 5 Н, одним из двух способов:

- с помощью электрических выводов испытуемого образца так, чтобы он свешивался вертикально вниз от коммутационной коробки, как показано на рисунке 6 а);
- с помощью провода, как показано на рисунке 6 б). Этот провод не должен быть прикреплен к крышке коммутационной коробки.

Груз не должен ударить или повредить заднюю поверхность испытуемого образца и должен находиться на высоте не менее 5 см над полом или рамой испытуемого образца в начале испытания, как показано на рисунке 6 б).

Если у испытуемых фотоэлектрических модулей более одной одинаковой коммутационной коробки, груз устанавливают только на одной коммутационной коробке, как показано на рисунке 6 б) или рисунке 6 в). Однако если коммутационные коробки различаются по конструкции, груз должен быть установлен на каждую из них.

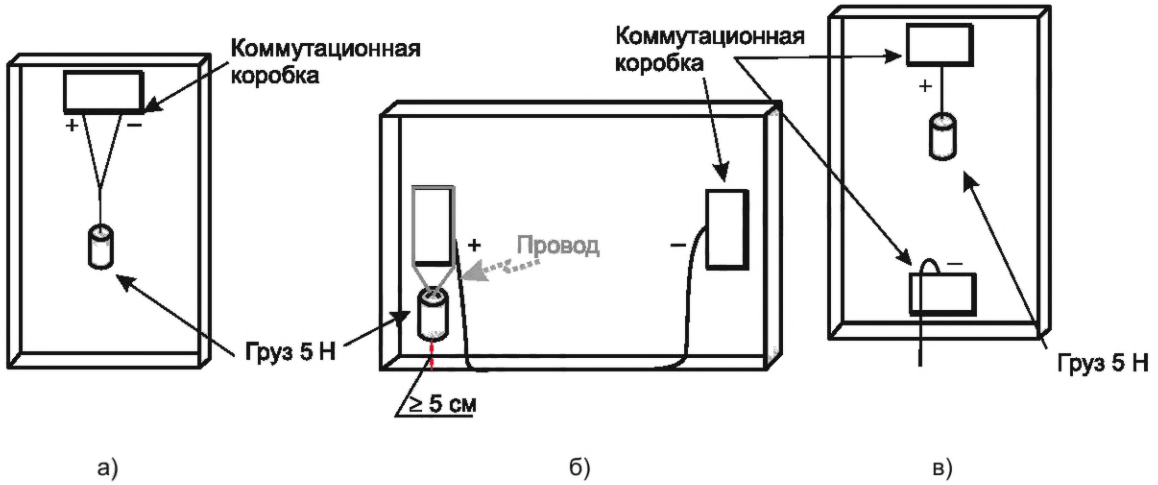


Рисунок 6 — Крепление груза к коммутационной коробке: а) с помощью выводов испытуемого образца; б) с помощью провода; в) только к одной коммутационной коробке

3) Подключают прибор для регистрации температуры к датчику температуры.

4) Подключают каждый испытуемый образец к отдельному источнику питания постоянного тока, соединив положительный вывод испытуемого образца с положительным выходом источника питания и соответственно подключив второй выход источника питания. Подключают приборы для регистрации тока и напряжения.

5) Закрывают испытательную климатическую камеру и проводят требуемое количество циклов изменения температуры от минус (40 ± 2) °С до плюс (85 ± 2) °С в соответствии с графиком на рисунке 5 (200 циклов в последовательности D или 50 циклов в последовательности С, см. ГОСТ 35322.1—2025, рисунок 2). Скорость изменения температуры между нижним и верхним пределами должна быть не более 100 °С/ч. Температура испытуемых образцов на нижнем и верхнем пределах должна оставаться постоянной не менее 10 мин.

Во время нагрева испытуемых образцов от минус 40 °С до плюс 80 °С на них подают постоянный ток. Значение испытательного тока определяется технологией изготовления испытуемых фотоэлектрических модулей и установлено в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]) в процентах от измеренного значения тока испытуемого образца в точке максимальной мощности при СУИ. При температуре выше 80 °С, во время охлаждения и выдержки при температуре минус 40 °С на испытуемые образцы подают ток, равный не более 1,0 % измеренного значения тока испытуемого образца в точке максимальной мощности при СУИ для контроля обрывов электрической цепи в испытуемых образцах. Если 1,0 % измеренного тока испытуемого образца в точке максимальной мощности при СУИ меньше 100 мА, то можно подавать ток (100 ± 25) мА. Если при нагреве от минус 40 °С температура поднимается слишком быстро (со скоростью более 100 °С/ч), начало подачи испытательного тока может быть отложено до тех пор, пока температура не достигнет минус 20 °С.

Время цикла не должно превышать 6 ч, за исключением испытуемых образцов с такой высокой теплоемкостью, что может потребоваться более длительное время испытаний.

В течение выдержки непрерывно регистрируют температуру испытуемых образцов и обрывы электрических цепей образцов, а также ток, протекающий через образцы, и напряжение образцов. Должны быть зафиксированы и внесены в протокол испытаний фактические продолжительности выдержки при верхней и нижней температурах.

Примечание — В испытуемых образцах с несколькими параллельно соединенными цепочками фотоэлектрических элементов обрыв в одной из цепочек приведет к скачку напряжения, при этом ток не будет равен нулю.

6) Отключают прибор для регистрации температуры испытуемых образцов от датчика температуры и испытуемые образцы от источников питания постоянного тока.

7) Вынимают испытуемые образцы из испытательной климатической камеры (если восстановление проводят вне климатической камеры).

4.8.4 Восстановление

После завершения выдержки испытуемые образцы должны находиться в течение не менее 1 ч с разомкнутыми контактами при температуре окружающего воздуха (23 ± 5) °С, относительной влажности не более 75 % и атмосферном давлении 84,0—106,7 кПа.

Если восстановление проводят в испытательной климатической камере, относительную влажность регулируют до требуемого значения за время, не превышающее 0,5 ч, после чего регулируют температуру лаборатории с допуском ±1 °С за время, не превышающее 0,5 ч.

Если восстановление проводят в другой испытательной климатической камере, время переноса образцов не должно превышать 5 мин.

Время восстановления отсчитывают с момента достижения требуемых условий восстановления.

4.8.5 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемых образцов проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- измерение ВАХ и определение максимальной мощности при СУИ по 4.2.3 или, для двусторонних образцов, при стандартных условиях двусторонней освещенности по 4.2.6;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12.

4.8.6 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- при проведении испытания отсутствовали обрывы электрических цепей в испытуемых образцах (отсутствовало прерывание тока или скачки напряжения);
- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- снижение максимальной выходной мощности при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности) не превышает 5 % значения после начальной стабилизации;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

4.9 Термоциклирование при высокой влажности

4.9.1 Назначение

Испытание предназначено для проверки способности фотоэлектрического модуля противостоять воздействию высокой температуры и высокой влажности с последующим охлаждением до нижнего предельного значения рабочей температуры. Эти испытания не являются испытаниями на стойкость к термическому удару.

4.9.2 Испытательное оборудование

а) Испытательная климатическая камера с автоматическим управлением температурой и влажностью и средствами минимизации образования конденсата на испытуемых образцах при проведении испытаний и обеспечивающая выполнение циклов изменения температуры и влажности с одним или несколькими испытуемыми образцами в соответствии с рисунком 7. Циркуляция воздуха вокруг испытуемых образцов должна обеспечивать выполнение температурных условий для каждого испытуемого образца.

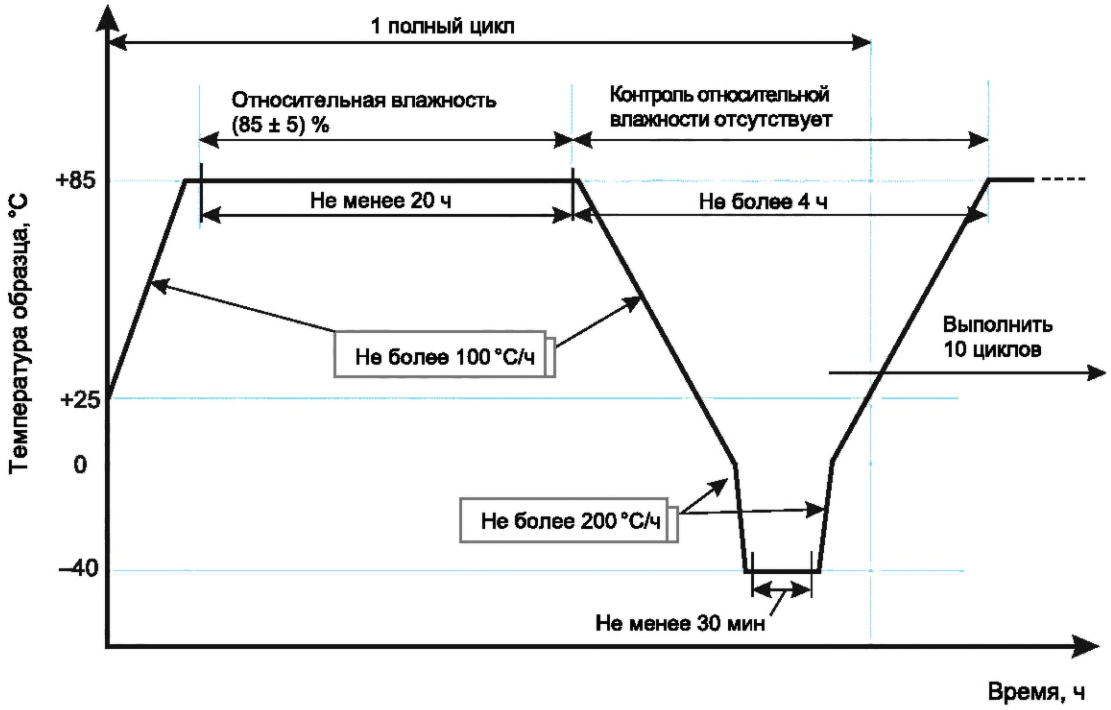


Рисунок 7 — Изменение температуры испытуемого образца и относительной влажности при термоциклировании

Должно отсутствовать воздействие на образцы теплового излучения от приборов, служащих для создания условий в испытательной климатической камере. Камеры инжекционного типа должны обеспечивать введение влаги на расстоянии от образца и без прямого попадания на него.

б) Приспособления для установки испытуемых образцов в испытательной климатической камере, обеспечивающие беспрепятственную циркуляцию окружающего воздуха. Теплопроводность стоек и креплений должна быть настолько низкой, чтобы с практической точки зрения испытуемые образцы можно было считать теплоизолированными.

Если изготовителем испытуемых образцов предоставлены или описаны специальные приспособления для установки испытуемого образца в испытательной климатической камере, используют эти приспособления, дополняя или модифицируя их, если необходимо.

в) Средства измерения и регистрации температуры испытуемого образца с точностью не менее ±2,0 °С и повторяемостью ±0,5 °С.

г) Источники питания для создания требуемого значения постоянного тока отдельно на каждом испытуемом образце, если в процессе испытаний на испытуемые образцы подают ток (см. 4.9.3).

д) Средства контроля обрывов электрической цепи каждого из одновременно испытуемых образцов.

4.9.3 Проведение испытания

1) Устанавливают датчик температуры в середине лицевой или тыльной поверхности испытуемого образца. Если одновременно проводят испытания нескольких испытуемых образцов, достаточно установить датчик только на одном типичном испытуемом образце.

2) Устанавливают испытуемые образцы в испытательной климатической камере. При внесении образца в климатическую камеру образец и камера должны находиться в нормальных условиях лаборатории. Во время внесения образца в камеру следует избегать конденсации влаги на его поверхности.

Если изготовителем указано несколько способов установки испытуемых образцов, испытания должны быть проведены отдельно для каждого способа. Для всех способов монтажа испытуемый образец устанавливают в варианте с наихудшим расположением точек крепления. Как правило, это вариант с наибольшим расстоянием между точками крепления.

Гибкие фотоэлектрические модули должны быть установлены в соответствии с рекомендациями изготовителя с указанными подложкой и клеем или средствами крепления/монтажа.

Интегрированные фотоэлектрические модули устанавливают так же, как в условиях эксплуатации, вместе с внешними по отношению к модулю конструкциями, элементами, материалами или их

имитаторами, если они влияют на тепловлажностный режим, работу и свойства испытуемых образцов в условиях эксплуатации. Допускается испытывать интегрированные фотоэлектрические модули без указанных конструкций, элементов и материалов, если режим выдержки обоснованно скорректирован с учетом их влияния на работу модулей (см., например, [19]). Описание всех конструкций, элементов, материалов или их имитаторов, их расположение и т. д. или обоснование корректировки режима выдержки и значения параметров режима должны быть внесены в протокол испытаний.

3) Подключают прибор для регистрации температуры к датчику температуры испытуемого образца.

4) Подключают каждый испытуемый образец к отдельному источнику питания постоянного тока, соединив положительный вывод испытуемого образца с положительным выходом источника питания и соответственно подключив второй выход источника питания. Подключают прибор(ы) для регистрации тока и напряжения.

5) Закрывают испытательную климатическую камеру и проводят 10 циклов испытаний в соответствии с графиком на рисунке 7. Отклонение температуры испытуемых образцов на нижнем (минус 40 °С) и верхнем (85 °С) пределах не должно превышать ±2°. Относительная влажность при достижении максимального значения температуры 85 °С должна поддерживаться на уровне (85 ± 5) %.

Для контроля обрывов электрической цепи во время выдержки на каждый испытуемый образец непрерывно подают постоянный ток, равный не более 0,5 % от измеренного тока испытуемого образца в точке максимальной мощности при СУИ. Если 0,5 % от измеренного тока в точке максимальной мощности при СУИ меньше 100 мА, то можно подавать ток (100 ± 25) мА.

Подача на испытуемые образцы тока в процессе испытания, а также значение испытательного тока определяется технологией изготовления испытуемых фотоэлектрических модулей и должно быть равно указанному в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

В течение выдержки непрерывно регистрируют температуру испытуемых образцов и обрывы электрических цепей образцов, а также ток, протекающей через образцы, и напряжение образцов.

Примечание — В испытуемых образцах с несколькими параллельно соединенными цепочками фотоэлектрических элементов обрыв в одной из цепочек приведет к скачку напряжения, при этом ток не будет равен нулю.

6) Отключают прибор для регистрации температуры испытуемых образцов от датчика температуры и испытуемые образцы от источников питания постоянного тока.

7) Вынимают испытуемые образцы из испытательной климатической камеры (если восстановление проводят вне климатической камеры).

4.9.4 Восстановление

После завершения выдержки испытуемые образцы выдерживают в течение не менее 1 ч с разомкнутыми контактами при температуре окружающего воздуха (23 ± 5) °С, относительной влажности не более 75 % и атмосферном давлении 84,0—106,7 кПа.

Если восстановление проводят в испытательной климатической камере, относительную влажность регулируют до требуемого значения за время, не превышающее 0,5 ч, после чего регулируют температуру лаборатории с допуском ±1 °С за время, не превышающее 0,5 ч.

Если восстановление проводят в другой испытательной климатической камере, время переноса образцов не должно превышать 5 мин.

Время восстановления отсчитывают с момента достижения требуемых условий восстановления.

4.9.5 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемых образцов проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- измерение ВАХ и определение максимальной мощности при СУИ по 4.2.3 или, для двусторонних образцов, при стандартных условиях двусторонней освещенности по 4.2.6;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12.

4.9.6 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- при проведении испытания отсутствовали обрывы электрических цепей в испытуемых образцах (отсутствовало прерывание тока или скачки напряжения);
- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;

- снижение максимальной выходной мощности при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности) не превышает 5 % значения после начальной стабилизации;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

4.10 Испытание на воздействие высокой температуры при высокой влажности

4.10.1 Назначение

Испытание предназначено для проверки способности испытуемых образцов противостоять проникновению влаги при ее длительном воздействии при высокой температуре.

4.10.2 Испытательное оборудование

а) Испытательная климатическая камера с автоматическим управлением температурой и влажностью и средствами минимизации образования конденсата на испытуемых образцах при проведении испытаний и обеспечивающая условия выдержки испытуемых образцов, указанные в 4.10.3. Циркуляция воздуха вокруг испытуемых образцов должна обеспечивать выполнение температурных условий для каждого испытуемого образца.

Должно отсутствовать воздействие на образцы теплового излучения от приборов, служащих для создания условий в испытательной климатической камере. Камеры инжекционного типа должны обеспечивать введение влаги на расстоянии от образца и без прямого попадания на него.

б) Приспособления для установки испытуемых образцов в испытательной климатической камере, обеспечивающие беспрепятственную циркуляцию окружающего воздуха. Теплопроводность стоек и креплений должна быть настолько низкой, чтобы с практической точки зрения испытуемый образец можно было считать теплоизолированным.

Если изготовителем испытуемых образцов предоставлены или описаны специальные приспособления для установки испытуемого образца в испытательной климатической камере, используют эти приспособления, дополняя или модифицируя их, если необходимо.

в) Средства измерения и регистрации температуры испытуемого образца с точностью не менее ±2,0 °С и повторяемостью ±0,5 °С.

г) Источники питания для создания требуемого значения постоянного тока отдельно на каждом испытуемом образце, если в процессе испытаний на испытуемые образцы подают ток (см. 4.10.3).

д) Средства контроля обрывов электрической цепи каждого из одновременно испытуемых образцов.

е) Средства измерения ВАХ испытуемых образцов, если это необходимо для испытуемых образцов данного типа.

ж) Груз(ы) весом 5 Н, который(ые) можно прикрепить к коммутационной(ым) коробке(ам).

4.10.3 Проведение испытания

Испытания проводят при следующих условиях:

- температура испытуемых образцов . . . . . (85 ± 2) °С;
- относительная влажность . . . . . (85 ± 5) %;
- продолжительность . . . . . 1000^{+48} ч;
- электрическая нагрузка . . . . как указано в специальных требованиях к испытаниям фотоэлектрических модулей данного типа, установленных в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

1) Устанавливают датчик температуры в середине лицевой или тыльной поверхности испытуемого образца. Если одновременно проводят испытания нескольких испытуемых образцов, достаточно установить датчик только на одном типичном испытуемом образце.

Выводы испытуемых образцов должны быть закорочены, если в специальных требованиях к испытаниям фотоэлектрических модулей данного типа, установленных в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]), указано, что в процессе испытаний ток на испытуемые образцы не подается.

2) Устанавливают испытуемые образцы в испытательной климатической камере. При внесении образца в климатическую камеру образец и камера должны находиться в нормальных условиях лаборатории. Во время внесения образца в камеру следует избегать конденсации влаги на его поверхности.

Если изготовителем указано несколько способов установки испытуемых образцов, испытания должны быть проведены отдельно для каждого способа. Для всех способов монтажа испытуемый обра-

зец устанавливают в варианте с наихудшим расположением точек крепления. Как правило, это вариант с наибольшим расстоянием между точками крепления.

Гибкие фотоэлектрические модули должны быть установлены в соответствии с рекомендациями изготовителя с указанными подложкой и клеем или средствами крепления/монтажа.

Интегрированные фотоэлектрические модули устанавливают так же, как в условиях эксплуатации, вместе с внешними по отношению к модулю конструкциями, элементами, материалами или их имитаторами, если они влияют на тепловлажностный режим, работу и свойства испытуемых образцов в условиях эксплуатации. Допускается испытывать интегрированные фотоэлектрические модули без указанных конструкций, элементов и материалов, если режим выдержки обоснованно скорректирован с учетом их влияния на работу модулей (см., например, [19]). Описание всех конструкций, элементов, материалов или их имитаторов, их расположение и т. д. или обоснование корректировки режима выдержки и значения параметров режима должны быть внесены в протокол испытаний.

К коммутационным коробкам прикрепляют груз весом 5 Н, как указано в 4.8.3.

3) Подключают прибор для регистрации температуры к датчику температуры.

4) Подключают каждый испытуемый образец к отдельному источнику питания постоянного тока, соединив положительный вывод испытуемого образца с положительным выходом источника питания и соответственно подключив второй выход источника питания. Подключают приборы для регистрации тока и напряжения.

Если в специальных требованиях к испытаниям фотоэлектрических модулей данного типа, установленных в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]), указано, что в процессе испытаний ток на испытуемые образцы не подается, этот этап пропускают.

5) Закрывают испытательную климатическую камеру и устанавливают температуру воздуха в камере (85 ± 2) °С, предусматривая время для стабилизации температуры испытуемых образцов. Скорость изменения температуры не должна превышать 1 °С/мин при усреднении за период не более 5 мин. В течение этого времени на образцах не должно появиться конденсата. Образование конденсата не происходит, если не увеличивают абсолютную влажность.

6) Устанавливают относительную влажность в камере (85 ± 5) % за время, не превышающее 2 ч.

7) Выдерживают испытуемые образцы при указанных значениях температуры и влажности в течение 1000^{+48} ч. Длительность выдержки отсчитывают с момента достижения заданных условий.

Во время выдержки на испытуемые образцы непрерывно подают постоянный ток, если иное не указано в специальных требованиях к испытаниям фотоэлектрических модулей данного типа. Значения испытательного тока и напряжения определяются технологией изготовления испытуемых фотоэлектрических модулей и должны быть равны указанным в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

В течение выдержки непрерывно регистрируют температуру испытуемых образцов и обрывы электрических цепей образцов, а также ток, протекающий через образцы, и напряжение образцов. Если в процессе выдержки на испытуемые образцы подают ток, контролируют значение испытательного тока, напряжения и, если необходимо, ВАХ.

Примечание — В испытуемых образцах с несколькими параллельно соединенными цепочками фотоэлектрических элементов обрыв в одной из цепочек приведет к скачку напряжения, при этом ток не будет равен нулю.

8) Охлаждают испытуемые образцы до температуры (23 ± 5) °С.

9) Отключают прибор для регистрации температуры испытуемых образцов от датчика температуры и испытуемые образцы от источников питания постоянного тока.

10) Вынимают испытуемые образцы из испытательной климатической камеры (если восстановление проводят вне климатической камеры).

4.10.4 Восстановление

После завершения выдержки испытуемые образцы выдерживают в течение не менее 1 ч с разомкнутыми контактами при температуре окружающего воздуха (23 ± 5) °С, относительной влажности не более 75 % и атмосферном давлении 84,0—106,7 кПа.

Если восстановление проводят в испытательной климатической камере, относительную влажность регулируют до требуемого значения за время, не превышающее 0,5 ч, после чего регулируют температуру лаборатории с допуском ±1 °С за время, не превышающее 0,5 ч.

Если восстановление проводят в другой испытательной климатической камере, время переноса образцов не должно превышать 5 мин.

Время восстановления отсчитывают с момента достижения требуемых условий восстановления.

4.10.5 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемых образцов проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- измерение ВАХ и определение максимальной мощности при СУИ по 4.2.3 или, для двусторонних образцов, при стандартных условиях двусторонней освещенности по 4.2.6;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12.

4.10.6 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- при проведении испытания отсутствовали обрывы электрических цепей в испытуемых образцах (отсутствовало прерывание тока или скачки напряжения);
- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- снижение максимальной выходной мощности при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности) не превышает 5 % значения после начальной стабилизации;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

4.11 Проверка прочности внешних соединений

4.11.1 Назначение

Испытания предназначены для проверки того, что средства подключения внешних электрических цепей и их крепление могут противостоять механическим нагрузкам, возникающим при нормальных условиях монтажа и эксплуатации фотоэлектрического модуля.

4.11.2 Проверка прочности крепления коммутационной коробки

4.11.2.1 Испытательное оборудование

При проведении испытания необходимы средства для приложения силы 40 Н к центру поверхностей коммутационной коробки испытуемого образца таким образом, чтобы на коммутационную коробку не было воздействия крутящего момента.

Крепление средств приложения усилия к коммутационной коробке не должно влиять на ее функциональные свойства.

4.11.2.2 Проведение испытания

Испытание проводят в интервале от 2 до 4 ч после термоциклирования при высокой влажности.

1) К коммутационной коробке прикладывают силу в 40 Н параллельно внешней поверхности испытуемого образца, на которой установлена коммутационная коробка. Силу прикладывают в течение (10 ± 1) с последовательно в каждом направлении параллельно краям испытуемого образца с шагом 90°. До уровня 40 Н прикладываемая сила должна возрастать плавно, без рывков.

2) В центре верхней поверхности коммутационной коробки прикладывают силу 40 Н перпендикулярно поверхности, на которой установлена коммутационная коробка. Силу прикладывают в течение (10 ± 1) с. До уровня 40 Н прикладываемая сила должна возрастать плавно, без рывков.

4.11.2.3 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемого образца проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12.

4.11.2.4 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- отсутствуют смещения коммутационной коробки относительно поверхности, на которой она установлена, приводящие к ухудшению изоляционных свойств;
- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

4.11.3 Проверка прочности закрепления кабелей и проводов

Прочность закрепления внешних кабелей и проводов в коммутационной коробке и электрических соединителях (если они установлены) оценивают не на полноразмерных образцах, а на образцах указанных компонентов отдельно с помощью соответствующих методов испытаний для коммутационных коробок и электрических соединителей фотоэлектрических модулей (см. [20], пункт 5.3.19 и [21],

пункт 6.3.15, соответственно[1]). Испытания проводят с наихудшим вариантом кабелей/проводов, которые могут быть закреплены в соответствии с технической документацией испытуемых фотоэлектрических модулей.

Для подтверждения соответствия испытуемых фотоэлектрических модулей техническим требованиям достаточно, чтобы установленные на них коммутационные коробки и электрические соединители прошли указанное испытание ранее с требуемыми проводами/кабелями, например при сертификации. В этом случае в технической документации фотоэлектрических модулей должны быть соответствующие официальные подтверждающие документы. В протоколе испытаний должно быть указано наименование испытательной лаборатории, дата проведения испытания и его результаты.

Испытание не применимо к коммутационным коробкам со встроенными электрическими соединителями. В этом случае испытание по стандартному методу ([21], пункт 6.3.15) должны выдержать только встроенные электрические соединители. Данную особенность коммутационной коробки следует отметить в протоколе испытаний.

4.12 Испытание изоляции на влагостойкость

4.12.1 Назначение

Испытание предназначено для оценки возможности повреждения изоляции фотоэлектрического модуля при работе в условиях повышенной влажности и проверки того, что влажность, создаваемая дождем, туманом, росой или тающим снегом, не проникает к токоведущим частям модуля, где она может вызвать коррозию, короткое замыкание или создать угрозу безопасности.

4.12.2 Испытательное оборудование

а) Источники питания постоянного тока, обеспечивающие непрерывную подачу на испытуемые образцы испытательного напряжения, равного 500 В или максимальному номинальному напряжению постоянного тока фотоэлектрической системы, в которую могут быть установлены испытуемые образцы, в зависимости от того, какое из них больше. Скорость увеличения подаваемого напряжения от нуля до требуемого значения не более 500 В/с.

Количество необходимых источников питания равно количеству испытуемых образцов, одновременно проходящих испытание.

б) Прибор для измерения сопротивления изоляции, в том числе обеспечивающий:

- ограничение тока;
- измерение тока по миллиамперной шкале.

в) Неглубокий поддон или бак достаточного размера для помещения испытуемого образца вместе с рамой в горизонтальном положении полностью в испытательную жидкость (за исключением вводов коммутационной коробки, которые не рассчитаны на погружение).

г) Испытательная жидкость — вода или раствор, отвечающие следующим требованиям:

- удельное сопротивление . . . . . 35 Ом·м или менее;
- температура . . . . . (22 ± 2) °С;
- отсутствуют поверхностно-активные вещества, которые могут осесть на поверхностях испытуемых образцов.

Объем жидкости должен быть достаточным для того, чтобы испытуемый образец был полностью погружен в жидкость, за исключением компонентов/частей компонентов испытуемого образца, которые не рассчитаны на погружение.

д) Оборудование для разбрызгивания испытательной жидкости, если не предусмотрено погружение всего испытуемого образца целиком.

4.12.3 Проведение испытания

Все соединения должны соответствовать рекомендациям изготовителя по выполнению проводки на месте эксплуатации, и, кроме того, необходимо принять меры, предупреждающие появление токов утечки через проводку прибора для измерения сопротивления, подключенную к испытуемому образцу.

1) Наполняют поддон или бак жидкостью для испытаний, указанной в 4.12.2.

2) Устанавливают перемычку между выводами испытуемого образца и подсоединяют к ним проводник для соединения с прибором для измерения сопротивления изоляции.

---

[1]) В Российской Федерации действуют ГОСТ Р 56981—2016 (МЭК 62790:2014) и ГОСТ Р 57230—2016 (МЭК 62852:2014), в которых это испытание установлено в 5.4.12 и 9.4.8, соответственно.

3) Погружают испытуемый образец в поддон или бак с жидкостью для испытаний на глубину, достаточную для покрытия всех поверхностей, за исключением компонентов/частей компонентов испытуемого образца, которые не рассчитаны на погружение (вводов коммутационной коробки и т. п.). Если испытуемый образец включает разъемные соединители, соединители должны быть собраны и места соединений должны быть погружены в жидкость.

4) Соединяют выводы испытуемого образца с положительным выходом прибора для измерения сопротивления изоляции.

Присоединяют к отрицательному выходу измерительного прибора соответствующий проводник и погружают второй конец проводника в жидкость для испытаний.

Фотоэлектрические модули, изготовленные по некоторым технологиям, могут быть чувствительными к статической поляризации, если модуль находится под положительным потенциалом на раме. В этом случае подключение прибора для измерения сопротивления изоляции к испытуемым образцам должно выполняться с противоположной полярностью, данные о чувствительности испытуемых образцов к статической поляризации должны быть предоставлены изготовителем и занесены в протокол испытаний.

5) Тщательно обрызгивают компоненты/части компонентов испытуемого образца, которые не рассчитаны на погружение в испытательную жидкость.

6) Со скоростью не более 500 В/с увеличивают напряжение на испытуемом образце до 500 В или до максимального номинального напряжения постоянного тока фотоэлектрической системы, в которую может быть установлен испытуемый образец, в зависимости от того, какое из них больше.

Поддерживают напряжение на этом уровне до момента стабилизации тока утечки и еще 2 мин после стабилизации его значения. Общая продолжительность с момента погружения не должна превышать 5 мин.

В течение всего времени подачи напряжения продолжают тщательно обрызгивать испытательной жидкостью не погруженные в жидкость компоненты/части компонентов испытуемого образца.

7) Регистрируют приложенное напряжение и ток утечки. Определяют сопротивление изоляции испытуемого образца.

8) Снижают приложенное напряжение до нуля и устанавливают перемычку между выводами измерительного прибора для сброса остаточного напряжения испытуемого образца.

9) Убирают перемычку между выводами измерительного прибора и отсоединяют измерительный прибор от испытуемого образца.

10) Смывают с испытуемого образца испытательную жидкость. Перед продолжением испытаний использованная жидкость с испытуемого образца должна быть полностью смыта.

У испытуемых образцов, которые далее будут проходить испытание на деградацию под воздействием высокого напряжения (см. 4.18) по последовательности F (см. ГОСТ 35322.1—2025, рисунок 2), немедленно после испытания все поверхности должны быть промыты водой с сопротивлением не менее 0,05 МОм, которая используется для создания необходимой влажности в испытании по 4.18 и соответствует ГОСТ 28201. Все поверхности испытуемых образцов должны быть не высушены на воздухе, а насухо вытерты хлопковыми или бумажными полотенцами, поскольку на завершающем этапе испытаний по *4.18* предполагается отсутствие каких-либо отложений на лицевой стороне испытуемых образцов.

4.12.4 Заключительные испытания

Проводят визуальный контроль по 4.1, в том числе определяют наличие следов нарушения изоляции, поверхностного пробоя или образования пузырьков.

4.12.5 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8, следы нарушения изоляции и поверхностного пробоя;
- у испытуемых образцов с площадью рабочей поверхности не более 0,1 м^2 сопротивление изоляции составляет не менее 400 МОм;
- у испытуемых образцов с площадью рабочей поверхности более 0,1 м^2 произведение измеренного сопротивления изоляции и площади модуля составляет не менее 40 МОм·м^2.

4.13 Испытание на воздействие статической механической нагрузки

4.13.1 Общие положения

Испытание предназначено для оценки способности фотоэлектрических модулей противостоять статическим механическим нагрузкам, возникающим в нормальных условиях эксплуатации в обычных климатических зонах, в умеренном климате из-за климатических факторов, таких как ветер, снег, лед и т. п.

В испытаниях проверяют стойкость испытуемых фотоэлектрических модулей к воздействию расчетной механической нагрузки, указанной изготовителем.

Определение минимальной статической нагрузки, при которой произойдет разрушение испытуемого фотоэлектрического модуля, не является целью настоящего стандарта. Такая нагрузка зависит от конструкции, принятых требований к механическим характеристикам, условий установки, климатических условий и ее определение может требовать более высоких испытательных нагрузок и иных значений коэффициента запаса, а также учета в условиях испытаний других влияющих факторов.

Испытательную нагрузку $P_{исп}$ вычисляют по формуле

$$P_{исп} = \gamma_m \cdot P, \tag{8}$$

где γ_m — коэффициент запаса прочности, $\gamma_m \geq 1{,}5$;

P — расчетная статическая механическая нагрузка (расчетная нагрузка).

Для испытуемых образцов, предназначенных для эксплуатации в условиях обычных статических механических нагрузок, минимальная расчетная нагрузка составляет 1600 Па с обоих направлений (на лицевую сторону и на тыльную сторону), соответствующая минимальная испытательная нагрузка составляет 2400 Па. Для испытуемых образцов, предназначенных для эксплуатации в условиях пониженных статических механических нагрузок, минимальная расчетная нагрузка составляет 800 Па, соответствующая минимальная испытательная нагрузка составляет 1200 Па, или минимальная расчетная нагрузка задается изготовителем в диапазоне 800 Па $\leq P <$ 1600 Па с учетом того, что минимальная испытательная нагрузка должна быть менее 2400 Па.

Для некоторых способов установки и условий эксплуатации изготовитель может устанавливать более высокие расчетные нагрузки для положительных (вверх) и/или отрицательных (вниз) направлений, а также увеличенные коэффициенты запаса прочности γ_m. Например расчетную положительную нагрузку 3600 Па и отрицательную нагрузку 2400 Па с коэффициентом запаса прочности γ_m = 1,5. В этом случае положительная испытательная нагрузка равна 5400 Па и отрицательная — 3600 Па. Расчетная(ые) нагрузка(и) и коэффициент(ы) запаса должны быть указаны в документации изготовителя для каждого способа установки испытуемого фотоэлектрического модуля.

Примечания

1 Испытательная нагрузка 2400 Па соответствует давлению при скорости ветра 130 км/ч (примерно 800 Па) с коэффициентом запаса прочности 3 для учета порывов ветра. Рекомендуемая испытательная нагрузка для работы в условиях сильного накопления снега или льда 5400 Па.

2 В этих испытаниях не учитывается воздействие неравномерных снеговых нагрузок. Для оценки устойчивости фотоэлектрических модулей к неравномерными снеговым нагрузкам см., например, [22].

Для некоторых способов установки фотоэлектрического модуля и климатических условий могут быть необходимы дополнительные требования.

4.13.2 Испытательное оборудование

а) Жесткое испытательное основание для установки испытуемого образца лицевой (рабочей) поверхностью, направленной вверх или вниз. Испытательное основание и приспособления, поддерживающие испытательное основание (например, брусья), должны обеспечивать свободный прогиб испытуемого образца при приложении нагрузки, с учетом ограничений, связанных со способом установки испытуемого образца, указанным изготовителем.

Приспособления для поддержки испытательного основания с испытуемым образцом (например, брусья).

Если используют поршневую систему (или аналогичную), максимальное расстояние вдоль поверхности модуля от центра до центра между равномерно нагруженными точками должно составлять 20 см или меньше. Если один поршень состоит из нескольких точек нагрузки, это максимальное расстояние относится как к точкам нагрузки внутри, так и между поршнями. Максимальное расстояние между рамой и равномерно нагруженной точкой также должно составлять 20 см или меньше.

б) Грузы или иные средства для создания требуемой постепенно возрастающей, равномерно распределенной нагрузки.

Примечание — Испытательная нагрузка может быть создана пневматическими средствами либо грузами, покрывающими всю поверхность.

в) Приборы для регистрации обрывов электрических цепей испытуемого образца во время испытаний.

г) Средства контроля температуры окружающей среды и, если необходимо, средства для обеспечения ее значения на уровне (25 ± 5) °С.

4.13.3 Проведение испытания

Испытания проводят при температуре окружающего воздуха (25 ± 5) °С и относительной влажности 75 %.

1) Устанавливают испытуемый образец на жестком основании по способу, указанному изготовителем, включая средства крепления (зажимы, скобы и т. п.).

Гибкие фотоэлектрические модули должны быть установлены с указанными подложкой и клеем или средствами крепления/монтажа.

Если изготовителем указано несколько способов установки испытуемых фотоэлектрических модулей, для каждого способа испытания должны быть проведены отдельно. Для всех способов монтажа испытуемый образец устанавливают в варианте с наихудшим расположением точек крепления. Как правило, это вариант с наибольшим расстоянием между точками крепления.

Если изготовителем не указано иное и давление будет создаваться грузами, испытуемый образец должен быть установлен горизонтально, лицевой поверхностью вверх.

Описание способов установки испытуемого образца и фотографии должны быть внесены в протокол испытаний.

2) К испытуемому образцу подключают приборы, с помощью которых можно обнаружить обрыв внутренних электрических цепей испытуемого образца во время испытаний.

3) К лицевой поверхности испытуемого образца прикладывают равномерно распределенную нагрузку, плавно возрастающую до уровня 2400 Па или другого требуемого значения испытательной нагрузки (см. 4.13.1). Создаваемая на поверхности модуля испытательная нагрузка должна быть равномерной с отклонением в пределах ±5 %.

Сохраняют нагруженное состояние испытуемого образца в течение 1 ч. При этом непрерывно контролируют состояние электрических цепей испытуемого образца и температуру окружающей среды. Фиксируют возникновение обрывов электрических цепей испытуемого образца. Если необходимо, поддерживают температуру окружающего воздуха на уровне (25 ± 5) °С.

Примечание — В испытуемых образцах с несколькими параллельно соединенными цепочками фотоэлектрических элементов обрыв в одной из цепочек приведет к снижению значения тока, но оно не будет равно нулю.

4) Переворачивают испытуемый образец на 180° таким образом, чтобы лицевая и тыльная поверхность поменялись местами, и выполняют этап 3 для тыльной поверхности испытуемого образца. Или оставляют испытуемый образец в прежнем положении и повторяют этап 3, воздействуя испытательной нагрузкой на тыльную поверхность снизу вверх. Значение прикладываемой испытательной нагрузки равно значению, установленному для тыльной поверхности.

5) Повторяют этапы 3 и 4 еще два раза.

4.13.4 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемых образцов проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- измерение ВАХ и определение максимальной мощности при СУИ по 4.2.3 или, для двусторонних образцов, при стандартных условиях двусторонней освещенности по 4.2.6;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12;
- электролюминесцентный контроль (см. [23]) при протекании через испытуемый образец в прямом направлении тока, равного току короткого замыкания испытуемого образца $I_{к.з}$ при СУИ и току $0{,}1I_{к.з}$ при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности). При электролюминесцентном контроле выявляют микротрещины и другие повреждения фотоэлектрических элементов, повреждения межэлементных соединений, другие нарушения и дефекты испытуемых об-

разцов. На электролюминесцентном изображении фотоэлектрические элементы с ухудшенными характеристиками будут выглядеть более темными;

- тепловизионный контроль (см. [24]) при протекании через испытуемый образец в прямом направлении тока, равного току испытуемого образца в точке максимальной мощности I_{mpp} при СУИ и току $2I_{mpp}$ при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности). При тепловизионном контроле выявляют зоны местного перегрева.

Если для тепловизионного или электролюминесцентного контроля необходимо, чтобы значение испытательного тока превышало указанные значения, это следует согласовать с изготовителем испытуемых образцов.

Примечание — Электролюминесцентный, а также тепловизионный контроль являются рекомендуемыми, но не обязательными испытаниями. Для получения наиболее полной информации рекомендуется проводить такой контроль после данного испытания и при начальных испытаниях (см. раздел 4).

4.13.5 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- при проведении испытаний отсутствовали обрывы электрических цепей в испытуемых образцах;
- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- снижение максимальной выходной мощности при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности) не превышает 5 % значения после начальной стабилизации;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5;
- при сравнении электролюминесцентных и тепловизионных изображений до и после воздействия циклической динамической механической нагрузкой не выявлены функциональные повреждения (если проводили электролюминесцентный и тепловизионный контроль).

4.14 Испытание на стойкость к ударам града

4.14.1 Назначение

Испытание предназначено для проверки способности испытуемых фотоэлектрических модулей выдерживать удары града.

4.14.2 Испытательное оборудование

а) Формы из подходящего материала для заморозки сферических градин необходимого диаметра. Стандартным диаметром градин является 25 мм ± 5 %, однако для особых условий может быть использован любой диаметр из приведенных в таблице 2.

Таблица 2 — Диаметр, масса и скорость градин

Диаметр, мм	Масса, г	Скорость, м/с	Диаметр, мм	Масса, г	Скорость, м/с
25	7,53	23,0	55	80,2	33,9
35	20,70	27,2	65	132,0	36,7
45	43,90	30,7	75	203,0	39,5

б) Морозильник с температурой минус (10 ± 5) °С.

в) Контейнер для хранения градин при температуре минус (4 ± 2) °С.

г) Пусковое устройство, обеспечивающее разгон градин до требуемой скорости (см. таблицу 2) с точностью не менее ±5 % и попадание градин в заданные места испытуемого образца. При условии соблюдения требований к испытаниям траектория полета градин от пускового устройства до испытуемого образца может быть горизонтальной, вертикальной или под любым промежуточным углом.

д) Жесткая стойка для крепления испытуемого образца в соответствии с указаниями изготовителя таким образом, чтобы лицевая поверхность испытуемого образца была перпендикулярна траектории летящей градины.

е) Весы для определения массы градин с точностью не менее ±2 %.

ж) Прибор для измерения скорости градин с точностью не менее ±2 %. Фотодатчик скорости должен располагаться не далее 1 м от поверхности испытуемого образца, подвергаемой удару.

На рисунке *8* приведена схема варианта испытательного стенда, включающего горизонтальную пневматическую пушку, вертикальную стойку для установки испытуемого образца и прибор для измерения скорости градин, который измеряет время пролета градин между двумя световыми лучами. Допускается применение другого оборудования, включая рогатки и пружинные пусковые установки.

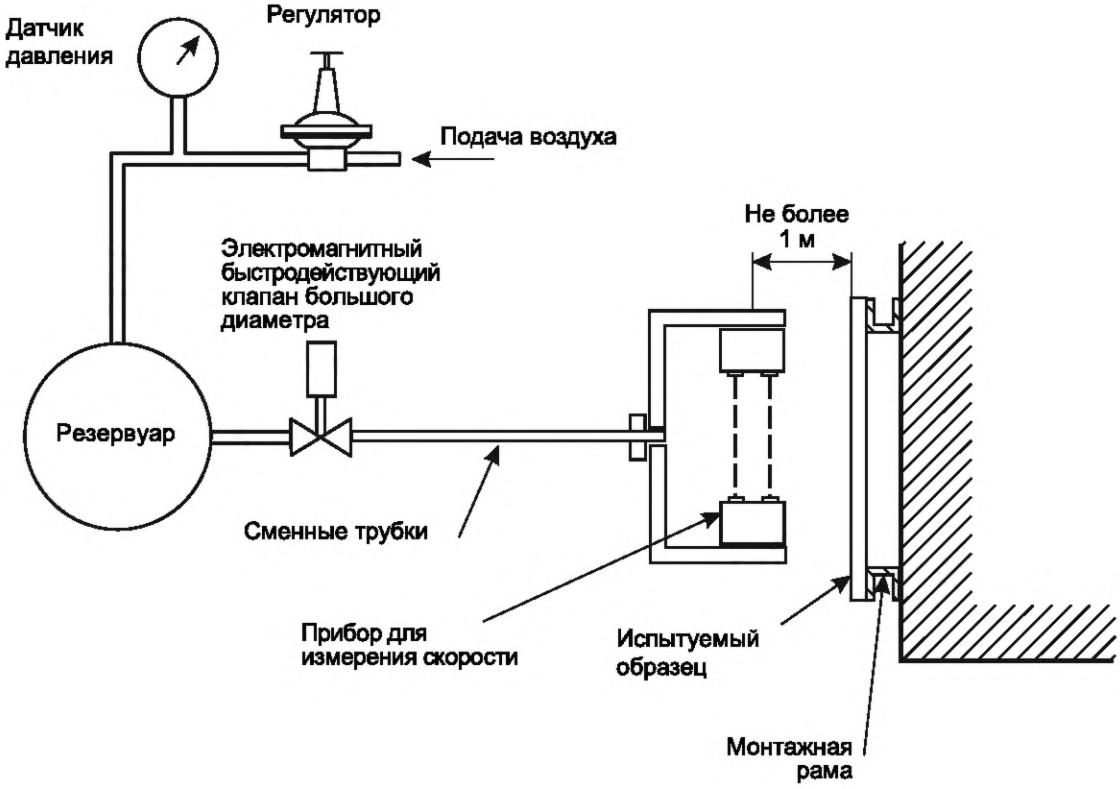


Рисунок 8 — Пример стенда для испытаний на стойкость к ударам града

4.14.3 Проведение испытания

1) С помощью форм и морозильника готовят для испытаний необходимое количество градин требуемого диаметра, включая дополнительные градины для настройки пусковой установки.

2) Проверяют градины на наличие трещин, их массу и размер. Градины должны отвечать следующим условиям:

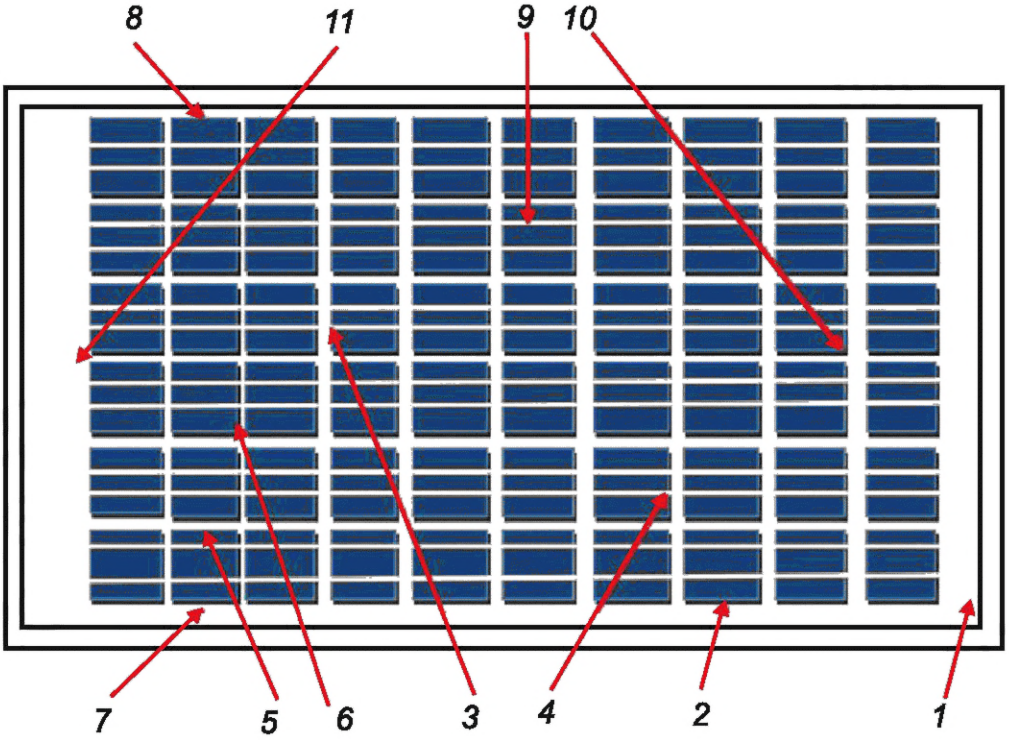
- не должно быть трещин, видимых невооруженным глазом;
- диаметр не должен отличаться более чем на ±5 % от значения, указанного в таблице 2;
- масса не должна отличаться более чем на ±5 % от соответствующего диаметру значения, указанного в таблице 2.

3) Помещают градины в контейнер для хранения и перед использованием оставляют их там не менее чем на 1 ч.

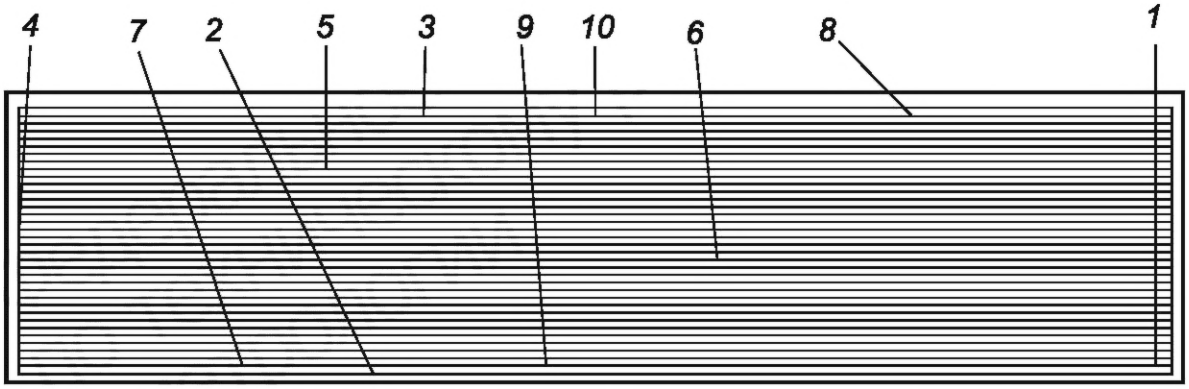
4) Отмечают на лицевой поверхности испытуемого образца места ударов.

Расположение мест ударов для фотоэлектрических модулей на основе фотоэлектрических элементов из кристаллического кремния и аналогичных показано на рисунке 9 а) и описано в таблице 3. Для тонкопленочных фотоэлектрических модулей, созданных методом рулонного покрытия, места удара градинами должны быть расположены приблизительно в тех же местах на лицевой поверхности, как показано на рисунке 9 б).

Примечание — Этот этап может быть выполнен перед любым этапом до этапа 8.



а) Для фотоэлектрических модулей из фотоэлектрических элементов на полупроводниковых пластинах



б) Для тонкопленочных фотоэлектрических модулей, созданных методом рулонного покрытия

Рисунок 9 — Примеры расположения мест ударов градинами

Таблица 3 — Места ударов для фотоэлектрических модулей на основе фотоэлектрических элементов из кристаллического кремния и аналогичных

Позиция на рисунке 9	Описание
1	Любой угол остекления испытуемого образца, на расстоянии не далее одного радиуса градины от края (рамы)
2	Любой край остекления испытуемого образца, на расстоянии не далее одного радиуса градины от края (рамы)
3, 4	Над межэлементными соединениями около коммутационных шин
5, 6	Над отдельными фотоэлектрическими элементами

Окончание таблицы 3

Позиция на рисунке 9	Описание
7, 8	Над монтажными элементами на расстоянии не далее половины диаметра градины от одной из точек крепления испытуемого образца к несущей конструкции
9, 10	На остеклении испытуемого образца в точках, максимально удаленных от точек, выбранных ранее
11	Над точками, наиболее чувствительными к воздействию града, например над коммутационной коробкой

5) Берут градину из контейнера для хранения и помещают ее в пусковую установку. Проводят несколько контрольных выстрелов градинами по имитационной мишени и регулируют пусковую установку таким образом, чтобы скорость градин, измеряемая помещенным в требуемое положение датчиком скорости, находилась в пределах ±5 % значения скорости градины, указанного в таблице 2, соответствующего ее диаметру и массе. Время между взятием градины из контейнера и ее ударом по поверхности испытуемого образца не должно превышать 60 с.

6) Убеждаются, что все поверхности пусковой установки, которые, возможно, будут входить в контакт с градинами, имеют комнатную температуру.

7) Устанавливают испытуемый образец при комнатной температуре на предназначенную для испытаний раму таким образом, чтобы лицевая поверхность испытуемого образца была перпендикулярна траектории градин.

Гибкие фотоэлектрические модули должны быть установлены в соответствии с рекомендациями изготовителя с указанными подложкой и клеем или средствами крепления/монтажа. Если допустима установка испытуемых образцов и в жестких, и в гибких условиях монтажа, испытания проводят в наихудших условиях. Вариант(ы) установки испытуемого образца должен(ны) быть зафиксирован(ы) в протоколе испытаний.

8) Берут градину из контейнера для хранения и помещают ее в пусковую установку. Выполняют прицеливание в место первого удара и производят выстрел. Время между взятием градины из контейнера и ее ударом по поверхности испытуемого образца не должно превышать 60 с.

9) Осматривают испытуемый образец в месте удара для выявления следов повреждения и отмечают все видимые последствия удара. Допускаются промахи в пределах 10 мм от требуемого места попадания. Все видимые последствия удара описывают, фотографируют или зарисовывают места их расположения.

10) Если испытуемый образец остается неповрежденным, повторяют шаги 8 и 9 для всех остальных отмеченных мест удара.

Диаметр и скорость градин, использованных для испытания, должны быть внесены в протокол испытаний.

4.14.4 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемого образца проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- измерение ВАХ и определение максимальной мощности при СУИ по 4.2.3 или, для двусторонних образцов, при стандартных условиях двусторонней освещенности по 4.2.6;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12.

4.14.5 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- снижение максимальной выходной мощности при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности) не превышает 5 % значения после начальной стабилизации;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

4.15 Испытания шунтирующих/блокирующих диодов

4.15.1 Испытание шунтирующих/блокирующих диодов на термостойкость

4.15.1.1 Назначение

Испытание предназначено для проверки теплового расчета испытуемого фотоэлектрического модуля и надежности работы шунтирующих/блокирующих диодов, установленных в фотоэлектрическом модуле, при высокой температуре, возникающей в процессе выполнения ими защитных функций.

Испытание предназначено для оценки температурных характеристик диодов и максимальной температуры перехода диода $T_{пер}$ при непрерывной работе.

Если в испытуемых образцах шунтирующие/блокирующие диоды не предусмотрены, данное испытание не проводят.

4.15.1.2 Образец для испытаний

Если шунтирующие/блокирующие диоды в испытуемом образце недоступны, для испытаний может быть необходимо изготовление специального замещающего образца. Этот образец должен быть изготовлен таким образом, чтобы обеспечить при испытаниях те же температурные условия вокруг диодов, что и в обычном испытуемом образце, и не обязательно должен быть рабочим фотоэлектрическим модулем.

Замещающий образец должен отличаться от испытуемых образцов только тем, что изготовителем присоединены все необходимые измерительные провода и установлены необходимые датчики в соответствии с указанными ниже требованиями или обеспечен доступ к диодам для осуществления подключения и установки датчиков в испытательной лаборатории, если такой доступ не нарушит температурные условия вокруг диодов.

Примечание — Присоединение измерительных проводов и установка датчиков на замещающем образце могут быть выполнены не изготовителем испытуемых фотоэлектрических модулей, если будут полностью соблюдены требования настоящего пункта.

Замещающий образец должен обеспечивать возможность измерять во время испытаний температуру той части шунтирующих/блокирующих диодов, тепловое сопротивление между которой и переходом диода указано изготовителем в сопроводительной документации или может быть найдено по типу диода (как правило, это корпус диода и тепловое сопротивление переход — корпус). Также замещающий образец должен обеспечивать возможность устанавливать перемычки или переключатели, если они требуются.

Если измерение температуры шунтирующего/блокирующего диода будет проводиться с помощью датчика температуры, провода датчика температуры должны иметь малую теплоемкость и быть подключены таким образом, чтобы как можно меньше влиять на диод и его тепловое окружение. Датчик температуры может быть установлен на соответствующей части шунтирующего/блокирующего диода при изготовлении замещающего образца.

Этот замещающий образец должен использоваться только для испытаний, шунтирующих/блокирующих диодов на термостойкость, и не должен принимать участие во всех остальных испытаниях.

Замещающий образец допускается использовать только для оценки температурных характеристик диодов и максимальной температуры перехода диода $T_{пер}$ при непрерывной работе (4.15.1.3, этапы 1—14), этап 15 в этом случае выполняют не с замещающим образцом, а с отдельным испытуемым образцом, предварительно подключив все необходимые приборы и т. д. Этот же испытуемый образец используют при заключительных испытаниях (см. 4.15.1.5).

4.15.1.3 Испытательное оборудование

а) Испытательная климатическая камера с регулируемой температурой с приспособлениями для установки испытуемых образцов (если они предусмотрены в комплектации камеры). Камера должна обеспечивать нагрев испытуемого образца до температуры (90 ± 5) °С и поддержание его температуры на одном уровне в интервале от (30 ± 2) °С до (90 ± 2) °С (см. 4.15.1.4, этапы 8—11).

б) Приспособления для установки испытуемых образцов в испытательной климатической камере, обеспечивающие беспрепятственную циркуляцию окружающего воздуха, если они не поставляются вместе с климатической камерой. Теплопроводность стоек и креплений должна быть настолько низкой, чтобы с практической точки зрения испытуемые образцы можно было считать теплоизолированными.

в) Средства измерения и регистрации температуры испытуемого образца с точностью не менее ±2 °С и повторяемостью ±0,5 °С.

г) Средства измерения и регистрации температуры диодов, если они не установлены/поставляются изготовителем или не установлены при изготовлении замещающего образца, если необходимо. Следует принять меры по минимизации возможного изменения каких-либо характеристик шунтирующих диодов или путей теплоотвода при установке средств измерения температуры. Если измерение температуры диодов будет проводиться с помощью датчика температуры, провода датчика температуры должны иметь малую теплоемкость и быть подключены таким образом, чтобы как можно меньше влиять на диод и его тепловое окружение.

Примечания

1 Под температурой диода имеется в виду температура той части диода, тепловое сопротивление между которой и переходом указано изготовителем в сопроводительной документации или может быть найдено по типу диода (как правило, это корпус диода).

2 Для измерения и регистрации температуры шунтирующих/блокирующих диодов допускается использовать тепловизор.

д) Импульсный источник питания, обеспечивающий подачу тока, не менее чем в 1,25 раза превышающего ток короткого замыкания испытуемого фотоэлектрического модуля при СУИ, с шириной импульса не более 1 мс.

При испытаниях двусторонних образцов испытательный ток должен быть в 1,25 раза больше тока короткого замыкания испытуемого образца в условиях повышенной двусторонней освещенности $I_{к.з\ BSI}$. Значение тока определяют по ВАХ, измеренной в условиях повышенной двусторонней освещенности (см. 4.2.6 и [10]). Если можно считать, что ток короткого замыкания образцов линейно зависит от энергетической освещенности (см. [15]), $I_{к.з\ BSI}$ можно рассчитать по формуле

$$I_{к.з\ BSI} = I^0_{к.з\ BNPI} + \frac{E_{BSI} - E_{BNPI}}{E_{BNPI} - E_{СУИ}} \cdot (I^0_{к.з\ BNPI} - I^0_{к.з\ СУИ}), \quad (9)$$

где $I^0_{к.з\ BNPI}$ — ток короткого замыкания испытуемого образца в стандартных условиях двусторонней освещенности после начальной стабилизации;

$I^0_{к.з\ СУИ}$ — ток короткого замыкания испытуемого образца при СУИ после начальной стабилизации;

$E_{СУИ}$ — энергетическая освещенность при СУИ, $E_{СУИ}$ = 1000 Вт/м^2.

Значения энергетической освещенности лицевой поверхности (при неосвещенной тыльной поверхности образца), эквивалентные по воздействию двусторонней энергетической освещенности при стандартных условиях двусторонней освещенности и при условиях повышенной двусторонней освещенности рассчитывают по формулам (5) и (6) (см. также [10]).

е) Средства измерения и регистрации тока испытуемого образца с точностью не менее ±0,5 % тока короткого замыкания.

ж) Средства измерения напряжения диодов с точностью не менее 2 % измеряемой величины.

4.15.1.4 Проведение испытания

Во время испытаний образец не должен подвергаться освещению.

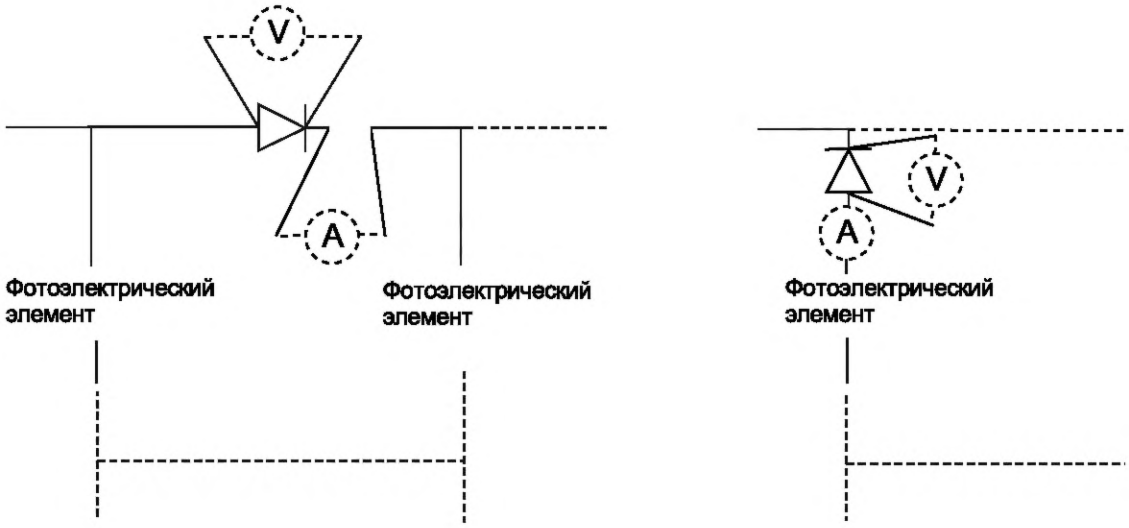
1) Замыкают все блокирующие диоды, если они установлены в испытуемом образце.

2) Устанавливают провода для подключения средств измерения прямого напряжения $U_{пр}$ и прямого тока $I_{пр}$ у каждого шунтирующего диода или каждого одновременно испытуемого диода (см. этап 6), как показано на рисунке 10 а) и, если необходимо, всех одновременно испытуемых шунтирующих диодов таким образом, чтобы выполнялось условие этапа 6.

Примечание — На замещающем образце эти провода устанавливают при его изготовлении.

Следует принять меры для предотвращения теплового рассеяния от клеммной колодки, которое может привести к неверной интерпретации результатов испытаний.

3) Устанавливают датчики измерения температуры испытуемого образца.



а) подключение проводов к шунтирующим диодам; б) подключение проводов к блокирующим диодам

Рисунок 10 — Схемы подключения проводов для измерения постоянного прямого напряжения и постоянного прямого тока шунтирующего и блокирующего диодов

Если будет проводиться измерение температуры шунтирующих диодов с помощью датчика температуры, и они не установлены изготовителем или при изготовлении замещающего образца, устанавливают датчик температуры на все шунтирующие диоды или на все одновременно испытуемые диоды. Провода датчиков температуры должны быть подключены таким образом, чтобы как можно меньше влиять на диод и его тепловое окружение.

Примечание — Датчики устанавливают на ту часть шунтирующего диода, тепловое сопротивление между которой и переходом указано изготовителем в сопроводительной документации или может быть найдено по типу диода (как правило, это корпус диода).

4) Помещают испытуемый образец в испытательную климатическую камеру или устанавливают средства нагрева испытуемого образца.

5) Подключают приборы для измерения температуры испытуемого образца и, если необходимо, температуры шунтирующих диодов.

6) Подключают положительный выход источника питания тока к отрицательным выводам испытуемого образца и отрицательный выход источника питания к положительным выводам испытуемого образца с использованием проводов минимального сечения из рекомендованного изготовителем диапазона. При такой схеме соединений ток будет протекать через фотоэлектрические элементы в обратном направлении, а через диод — в прямом. Вводы в коммутационную коробку должны быть выполнены в соответствии с рекомендациями изготовителя, после чего она должна быть закрыта.

Во время испытаний через каждый шунтирующий диод, участвующий в испытаниях, должен протекать ток, равный току, подаваемому на испытуемый образец. Если в испытуемом образце установлено несколько шунтирующих диодов, для обеспечения указанного условия может потребоваться установка перемычки(перемычек) или переключателя.

Примечание — Как правило, это условие соблюдается, если ток протекает только через один шунтирующий диод.

7) Подключают приборы для измерения тока и напряжения.

8) Нагревают испытуемый образец до температуры (30 ± 2) °С.

После стабилизации температуры испытуемого образа подают на испытуемый образец импульсный ток, равный току короткого замыкания испытуемого образца при СУИ, с шириной импульса 1 мс и измеряют прямое напряжение шунтирующего диода $U_{пр1}$.

При испытаниях двусторонних фотоэлектрических модулей значение подаваемого тока равно току короткого замыкания испытуемого образца при условиях повышенной двусторонней освещенности, см. 4.15.1.3, перечисление д).

Прямой ток испытуемых шунтирующих диодов $I_{пр}$ равен току, подаваемому на испытуемый образец, т. е. току короткого замыкания испытуемого образца при СУИ: $I_{пр} = I_{к.з\ СУИ}$ ±2 %. Или, для двусторонних образцов, при условиях повышенной двусторонней освещенности: $I_{пр} = I_{к.з\ BSI}$ ±2 %.

Предполагается, что при этом температура испытуемого фотоэлектрического модуля $T_{мод}$ равна температуре воздуха внутри коммутационной коробки и температуре корпуса шунтирующего диода $T_{кор}$ или той части шунтирующего диода, тепловое сопротивление между которой и переходом указано изготовителем в сопроводительной документации или может быть найдено по типу диода (как правило, это корпус диода).

9) Повторяют этап 8 для температуры испытуемого образца (50 ± 2) °С и измеряют $U_{пр2}$.

10) Повторяют этап 8 для температуры испытуемого образца (70 ± 2) °С и измеряют $U_{пр3}$.

11) Повторяют этап 8 для температуры испытуемого образца (90 ± 2) °С и измеряют $U_{пр4}$.

12) Нагревают испытуемый образец до температуры (75 ± 5) °С.

После того как температура испытуемого образца установилась, поддерживая ее на заданном уровне, в течение 1 ч подают на испытуемый образец постоянный ток, равный току короткого замыкания испытуемого образца при СУИ ±2 % (или, для двусторонних образцов, при условиях повышенной двусторонней освещенности ±2 %). Через 1 ч измеряют прямое напряжение каждого шунтирующего диода, принимающего участие в испытаниях и, если необходимо, $T_{кор}$.

Если в испытуемом образце установлен радиатор теплоотвода для снижения рабочей температуры диода(ов), этот этап можно проводить не при (75 ± 5) °С, а при температуре, которую достигает радиатор теплоотвода при 1000 Вт/м^2, температуре окружающей его среды (43 ± 3) °С и отсутствии ветра.

13) По значениям $U_{пр1}$, $U_{пр2}$, $U_{пр3}$ и $U_{пр4}$, используя метод наименьших квадратов, строят зависимость $U_{пр}$ от $T_{кор}$ или от температуры той части шунтирующего диода, тепловое сопротивление между которой и переходом указано изготовителем в сопроводительной документации или может быть найдено по типу диода.

14) Используя полученную зависимость $U_{пр}$ от $T_{кор}$, определяют значение $T_{кор}$ по $U_{пр}$ при температуре окружающей среды T_{amb} = 75 °С. В первом приближении можно считать, что определенная таким образом температура корпуса диода при T_{amb} = 75 °С равна температуре перехода.

Для более точной оценки выполняют следующее.

Определяют тепловое сопротивление и максимальную допустимую температуру перехода шунтирующих диодов по сопроводительной документации или типу диодов в справочной литературе, каталогах и т. п.

По измеренной или полученной по графику $U_{пр} = f(T_{кор})$ температуре корпуса диода $T_{кор}$ при T_{amb} = 75 °С [либо температуре другой части диодов, тепловое сопротивление которой указано изготовителем или может быть определено по типу диода (см. примечание к этапу 3 и этап 8)], рассчитывают температуру перехода каждого шунтирующего диода, принимающего участие в испытаниях, по формуле

$$T_{пер} = T_{кор} + R_{\theta пер\text{-}кор}\, U_{пр}\, I_{пр}\,, \qquad (10)$$

где $T_{пер}$ — температура перехода диода;

$T_{кор}$ — измеренная температура корпуса диода;

$R_{\theta пер\text{-}кор}$ — указанное изготовителем значение теплового сопротивления переход — корпус;

$U_{пр}$ — постоянное прямое напряжение диода при $I_{пр}$;

$I_{пр}$ — постоянный прямой ток диода; $I_{пр}$ равен подаваемому на испытуемый образец току (току короткого замыкания испытуемого образца, измеренному при СУИ ±2 % или, для двусторонних образцов, при условиях повышенной двусторонней освещенности ±2 %).

Примечание — В формуле (8) вместо $R_{\theta пер\text{-}кор}$ должно стоять тепловое сопротивление между переходом и другой частью шунтирующего диода, если только оно указано изготовителем вместо $R_{\theta пер\text{-}кор}$ в сопроводительной документации или может быть найдено по типу диода, и соответственно температура этой части вместо $T_{кор}$. Если температуру диода не измеряют, то принимают, что $T_{мод}$ на этапах 8—11 равна температуре этой части диода.

Рассчитанное значение температуры перехода шунтирующего диода не должно превышать значение максимальной допустимой температуры перехода, которое указано изготовителем в сопроводительной документации или может быть найдено по типу диода. Если это условие выполняется, переходят к следующему этапу испытаний. Если это условие не выполняется, испытания прекращают и испытуемый образец считают не выдержавшим испытания.

15) Устанавливают температуру испытуемого образца (75 ± 5) °С.

Увеличивают подаваемый на испытуемый образец ток до значения, превышающего в 1,25 раза ток короткого замыкания испытуемого образца, измеренный при СУИ или, для двусторонних образцов, при условиях повышенной двусторонней освещенности. Поддерживают значение тока на указанном уровне и температуру испытуемого образца на уровне (75 ± 5) °С в течение 1 ч.

16) Если в испытуемом образце установлено несколько шунтирующих диодов и нет возможности испытать все шунтирующие диоды одновременно (см. этап 6), отсоединяют источник питания, устанавливают датчики температуры на следующий(ие) диод(ы), если необходимо и они не были установлены ранее, меняют положение перемычек или переключателя и повторяют этапы 4—15 поочередно с каждой группой шунтирующих диодов, которые можно испытать одновременно, или с каждым диодом.

17) Если в испытуемом образце установлены блокирующие диоды, аналогично проводят испытание, выполняя измерения параметров каждого из блокирующих диодов отдельно. Схема подключения показана на рисунке 10 б).

4.15.1.5 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемых образцов проводят следующие испытания:

- испытание шунтирующих/блокирующих диодов на работоспособность по 4.15.2;
- визуальный контроль по 4.1;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12.

4.15.1.6 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- температура перехода каждого шунтирующего диода не превышает максимальную допустимую температуру перехода диода, которая указана изготовителем в сопроводительной документации или может быть найдена по типу диода;
- шунтирующие диоды сохраняют работоспособность после испытания на работоспособность по 4.15.2;
- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

4.15.2 Испытание шунтирующих/блокирующих диодов на работоспособность

4.15.2.1 Назначение

Испытание предназначено для проверки работоспособности шунтирующих/блокирующих диодов, установленных в испытуемом фотоэлектрическом модуле.

Если в испытуемых образцах шунтирующие/блокирующие диоды не предусмотрены, данное испытание не проводят.

4.15.2.2 Образец для проведения испытаний

Если в испытуемом образце шунтирующий(ие) диод(ы) недоступен(ны) без разрушения испытуемого образца, для испытаний может быть необходимо изготовление специального замещающего образца, требования к которому аналогичны требованиям 4.15.1.2.

4.15.2.3 Испытательное оборудование

а) Источник питания постоянного тока, обеспечивающий подачу тока, не менее чем в 1,25 раза превышающего ток короткого замыкания испытуемого образца при СУИ (для двусторонних испытуемых образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности), указанный на паспортной табличке.

б) Средства измерения и регистрации тока испытуемого образца с точностью не менее ±0,5 % тока короткого замыкания.

в) Средства измерения напряжения диодов с точностью не менее 2 % измеряемой величины.

г) Средства измерения температуры окружающей среды.

д) Средства измерения и регистрации температуры шунтирующих диодов, если они не установлены/поставляются изготовителем или не установлены при изготовлении замещающего образца, если необходимо. Следует принять меры по минимизации возможного изменения каких-либо характеристик шунтирующих диодов или путей теплоотвода при установке средств измерения температуры. Если измерение температуры шунтирующего диода будет проводиться с помощью датчика температуры, провода датчика температуры должны иметь малую теплоемкость и быть подключены таким образом, чтобы как можно меньше влиять на диод и его тепловое окружение.

Примечания

1 Под температурой диода имеется в виду температура той части диода, тепловое сопротивление между которой и переходом указано изготовителем в сопроводительной документации или может быть найдено по типу диода (как правило, это корпус диода).

2 Для измерения и регистрации температуры шунтирующих/блокирующих диодов допускается использовать тепловизор.

е) Средства измерения ВАХ за 1 с для проведения испытаний по методу В, с точностью измерения напряжения и тока не менее 1 % измеряемой величины.

4.15.2.4 Проведение испытания

Испытание выполняют по одному из следующих двух методов.

Метод А

Испытание проводят при температуре окружающей среды (25 ± 10) °С. В процессе испытаний образец не должен подвергаться освещению.

1) Замыкают все блокирующие диоды, если они установлены в испытуемом образце.

2) Подключают положительный выход источника питания постоянного тока к отрицательным выводам испытуемого образца и отрицательный выход источника питания постоянного тока к положительным выводам испытуемого образца с использованием проводов минимального сечения из рекомендованного изготовителем диапазона. При такой схеме соединений ток будет протекать через фотоэлектрические элементы в обратном направлении, а через диод — в прямом. Вводы в коммутационную коробку должны быть выполнены в соответствии с рекомендациями изготовителя, после чего она должна быть закрыта.

Во время испытаний через каждый шунтирующий диод, участвующий в испытаниях, должен протекать ток, равный току, подаваемому на испытуемый образец. Если в испытуемом образце установлено несколько шунтирующих диодов, для обеспечения указанного условия может потребоваться установка перемычки(перемычек) или переключателя.

Примечание — Как правило, это условие соблюдается, если ток протекает только через один шунтирующий диод.

3) Подключают приборы для измерения тока и напряжения.

4) Подают на испытуемый образец постоянный ток, постепенно увеличивая его значение от нуля до значения, в 1,25 раза превышающего ток короткого замыкания испытуемого образца при СУИ (для двусторонних испытуемых образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности), указанный на паспортной табличке.

Фиксируют напряжение в протоколе испытаний.

5) Если в испытуемом образце установлено несколько шунтирующих диодов и нет возможности испытать все шунтирующие диоды одновременно (см. этап 2), при выключенном источнике питания меняют положение перемычек или переключателя и повторяют этапы 2—4 поочередно с каждой группой шунтирующих диодов, которые можно испытать одновременно, или с каждым диодом.

6) Если в испытуемом образце установлены блокирующие диоды, аналогично проводят испытание блокирующих диодов, определяя $U_{пр}$ для каждого отдельного диода.

Метод В

Подключают измерительные приборы, устанавливают испытуемый образец и подключают его к источнику питания, как указано в 4.15.2.4, в том числе подключают средства измерения ВАХ.

Полностью затеняют один или нескольких фотоэлектрических элементов какой-либо части испытуемого образца, защищенной одним шунтирующим диодом, и добиваются таким образом включения диода. При включенном диоде, когда ток, протекающий через диод, равен току, протекающему в испытуемом образце, измеряют ВАХ и определяют максимальную мощность испытуемого образца по 4.2, 4.2.3 или 4.2.4 при энергетической освещенности, близкой к СУИ. Повторяют затенение и измерение ВАХ при той же энергетической освещенности для каждой части испытуемого образца, защищенной одним шунтирующим диодом.

ВАХ измеряют, когда, как минимум, затеняют один фотоэлектрический элемент в фотоэлектрической цепочке (или части цепочки, затененной проверяемым диодом) при последовательном соединении фотоэлектрических элементов, одну группу фотоэлектрических элементов при параллельно-последовательном соединении фотоэлектрических элементов, по одному фотоэлектрическому элементу в каждой цепочке при последовательно-параллельном соединении фотоэлектрических элементов (основные типы соединений фотоэлектрических элементов в фотоэлектрических модулях см. в 4.6.3).

4.15.2.5 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- у образцов, испытанных по методу А, измеренное прямое напряжение одного шунтирующего диода $U_{пр}$ или нескольких одновременно испытанных диодов находится в пределах

$$U_{пр} = (N \cdot U_{пр.ном)} \pm 10\ \%, \quad (11)$$

где N — количество одновременно испытанных шунтирующих диодов, для которых измерено напряжение $U_{пр}$;

$U_{пр.ном}$ — прямое напряжение диода при 25 °С, определенное по паспортным данным диода.

Для блокирующих диодов оценку результата проводят для каждого диода отдельно;

- у образцов, испытанных по методу В, при затенении части электрической цепи образца, защищенной проверяемым шунтирующим диодом, наблюдается характерный изгиб ВАХ. Например в фотоэлектрическом модуле из кристаллического кремния с 60 последовательно соединенными фотоэлектрическими элементами, в котором каждая из трех равных частей цепочки защищена одним шунтирующим диодом, шунтирующие диоды работоспособны, если при затенении фотоэлектрических элементов одной цепочки наблюдается снижение максимальной мощности испытуемого образца примерно на 1/3 от ее значения без затенения.

4.16 Испытание маркировки на стойкость к истиранию

Маркировку трут вручную куском хлопчатобумажной ткани, смоченным водой, в течение 15 с, а затем в течение 15 с куском хлопчатобумажной ткани, смоченным бензином.

Для испытания используют бензин (гексановый растворитель) со следующими показателями:

- содержание ароматических углеводородов . . . . . не более 0,1 % по объему;
- показатель каури-бутанол (КБ). 29;
- температура начала кипения . . . . . примерно 65 °С;
- температура конца кипения . . . . . примерно 69 °С;
- плотность . . . . . примерно 0,68 г/см^3.

Испытуемый образец считают выдержавшим испытание, если маркировка осталась четкой и разборчивой, не имеет признаков скручивания и прочно закреплена.

После всех испытаний на воздействие внешних климатических факторов маркировка также должна оставаться четкой и разборчивой.

С маркировкой, нанесенной вдавливанием, штамповкой, тиснением, гравировкой или иными подобными способами, данное испытание не проводят.

4.17 Испытание на воздействие циклической (динамической) механической нагрузки

4.17.1 Назначение

Испытание предназначено для оценки чувствительности компонентов испытуемых фотоэлектрических модулей к низким уровням механических нагрузок. Наиболее вероятной причиной высокой чувствительности к низким уровням механических нагрузок является технология сборки фотоэлектрических модулей, детали, обеспечивающие сборку и крепление, при определенных условиях представляющие угрозу целостности компонентов модуля (например, выступы, которые при таких нагрузках могут оказывать слишком большое давление на фотоэлектрические элементы и создавать микротрещины). С помощью этого испытания оценивают прочность фотоэлектрических элементов, межэлементных и др. соединений и краевых уплотнений.

Примечание — Испытание проводят аналогично [25].

Хотя при воздействии циклической (динамической) механической нагрузки часто происходит повреждение компонентов фотоэлектрических модулей, в результате проведения этого испытания существенного снижения максимальной мощности обычно не происходит. Возникшие повреждения, которые приведут к значительному снижению максимальной мощности в дальнейшем, могут быть не выявлены при заключительных испытаниях по 4.17.5 и проявиться только после последующих дополнительных воздействий, например воздействия климатических факторов. Скрытые повреждения могут быть выявлены с помощью термоциклирования (50 циклов) по 4.8 и затем термоциклирования при высокой влажности (10 циклов) по 4.9. Такая последовательность испытаний включена в программу испытаний по оценке соответствия техническим требованиям (см. ГОСТ 35322.1—2025, рисунок 2, последовательность С) и, прежде всего, выявляет повреждения фотоэлектрических элементов и межэлементных сое-

динений. Повреждение краевой герметизации лучше всего выявить, проведя после данного испытания испытание на воздействие высокой температуры при высокой влажности по 4.10, при котором влага в полной мере проникнет через повреждения, что приводит к соответствующему снижению максимальной мощности испытуемых образцов.

Если необходимо, перед проведением испытания выполняют проверку целостности контура заземления (уравнивания потенциалов) (см. [7], подраздел 10.11).

Если позволяет оборудование для создания механической нагрузки и способы установки испытуемых образцов, одновременно для проведения испытаний может быть установлено несколько испытуемых образцов в соответствии с несколькими или всеми способами установки, указанными изготовителем.

4.17.2 Испытательное оборудование

Для проведения испытаний требуется следующее испытательное оборудование:

а) Испытательный стенд для имитации сжимающих и растягивающих напряжений, возникающих в фотоэлектрическом модуле, обеспечивающий приложение равномерно распределенного по поверхности давления до (1000 ± 100) Па перпендикулярно к поверхности(ям) испытуемого образца поочередно в обоих направлениях с частотой от трех до семи циклов в минуту.

Примечание — В зависимости от испытательного оборудования возможны варианты приложения механической нагрузки только к лицевой (рабочей) поверхности, только к тыльной поверхности или поочередно к лицевой и тыльной поверхности фотоэлектрического модуля. Наиболее широко применяется вариант приложения нагрузки только к лицевой поверхности.

Предпочтительно создавать требуемую механическую нагрузку с помощью давления воздухом или разрежения.

Если для создания механической нагрузки используют систему поршней (или иное несплошное приложение нагрузки), то сила, прикладываемая каждым поршнем (или иным устройством), должна составлять

$$F = PA/n, \tag{12}$$

где P — требуемое давление, Па;

A — площадь поверхности испытуемого образца, на которую воздействуют нагрузкой, м^2;

n — число поршней.

Для создания требуемого воздействия на испытуемый образец максимальное расстояние между равнонагруженными точками (между центрами поршней) на поверхности испытуемого образца, к которой прикладывается механическая нагрузка, должно быть не более 20 см. Если один поршень имеет несколько нагружающих точек, это требование относится как к расстоянию между точками одного поршня, так и к расстоянию между точками разных поршней. Максимальное расстояние по поверхности испытуемого образца (перпендикулярно направлению приложения нагрузки) между рамой испытуемого образца и равнонагруженными точками также должно быть не более 20 см.

б) Приспособления/монтажные конструкции для каждого способа установки испытуемых образцов в соответствии с требованиями изготовителя, в наихудшем варианте крепления. Как правило, наихудшим вариантом является вариант, при котором расстояние между точками крепления наибольшее.

в) Испытательная климатическая камера, позволяющая разместить испытательный стенд и обеспечить проведение испытания, если испытание проводят при температуре, отличающейся от комнатной, или температура в месте проведения испытаний может быстро изменяться во времени более чем на 2,0 °С. Камера может быть частью оборудования или использоваться самостоятельно. Допускается применять иное оборудование, обеспечивающее создание и поддержание требуемой температуры испытуемых образцов.

Испытательная климатическая камера должна быть снабжена автоматическим управлением температурой, средствами обеспечения внутренней циркуляции воздуха и средствами минимизации образования конденсата на испытуемых образцах при проведении испытаний и обеспечивать поддержание требуемого значения температуры испытуемых образцов. Циркуляция воздуха вокруг испытуемых образцов должна обеспечивать выполнение температурных условий для каждого испытуемого образца.

г) Средства непрерывного контроля за отсутствием обрывов электрических цепей в каждом из одновременно испытуемых образцов.

д) Источник(и) питания постоянного тока, обеспечивающий(ие) подачу на каждый испытуемый образец требуемого значения тока с погрешностью ±2 % (см. 4.17.4).

е) Средства измерения и регистрации температуры испытуемых образцов с точностью ±2,0 °С и повторяемостью ±0,5 °С.

4.17.3 Условия испытания

Испытание проводят при следующих условиях:

- максимальная механическая нагрузка . . . . . .(1000 ± 100) Па;
- частота . . . . . 3-7 циклов/мин;
- количество циклов. . . . . 1000 циклов;
- направление приложения механической нагрузки . . . . .перпендикулярно рабочей поверхности.

Условия монтажа — наихудший вариант крепления в соответствии с требованиями изготовителя. Как правило, наихудшим вариантом является вариант, при котором расстояние между точками крепления наибольшее.

Если внешние по отношению к интегрированному фотоэлектрическому модулю конструкции, в которые (с которыми) эти модули будут установлены в условиях эксплуатации, могут ухудшать стойкость модулей к воздействию циклической (динамической) механической нагрузки, испытание следует проводить с образцами, установленными во/с внешней конструкции или ее имитации, наихудшем варианте внешней конструкции.

Испытание может быть проведено при любой температуре испытуемых образцов в диапазоне их рабочей температуры. Температура испытуемых образцов должна быть постоянной в течение всего времени проведения испытаний, с отклонением в пределах ±2,0 °С. Обычно воздействие динамической (циклической) механической нагрузкой проводят в испытательной лаборатории при комнатной температуре. Диапазон допустимой при испытаниях температуры испытуемых образцов ограничен минимальной и максимальной рабочими температурами испытуемых образцов и предельными температурами используемых в испытаниях крепежных материалов (резиновых зажимов, шайб и т. п.). Температура испытуемых образцов во время испытаний должна быть указана в протоколе испытаний.

4.17.4 Проведение испытания

1) Устанавливают датчики температуры в середине лицевой или тыльной поверхности испытуемых образцов таким образом, чтобы они не мешали приложению механической нагрузки.

2) Закрепляют испытуемый образец в определенных точках на испытательном стенде или ином оборудовании для создания механической нагрузки в соответствии с требованиями изготовителя (одним из указанных изготовителем способов, если допускается несколько способов установки испытуемых образцов), используя средства установки (зажимы, скобы или средства закрепления иного вида, приспособления для монтажа, конструкции, поставляемые вместе с фотоэлектрическим модулем) и нижние поддерживающие брусья (если нагрузку прикладывают только к лицевой поверхности испытуемого образца). Гибкий фотоэлектрический модуль устанавливают в его жесткой монтажной конструкции.

Для всех способов установки испытуемый образец устанавливают таким образом, чтобы точки крепления представляли собой наихудший из возможных вариантов, как правило, это вариант, когда расстояние между точками крепления наибольшее.

Если испытание проводят не при комнатной температуре или температура в месте проведения испытаний может быстро изменяться во времени более чем на 2,0 °С или испытательный стенд не включает иное оборудование, обеспечивающее требуемую постоянную температуру испытуемых образцов в течение испытаний, испытуемые образцы устанавливают указанным образом в испытательной климатической камере.

3) Подключают приборы для регистрации температуры к датчикам температуры. Подключают средства непрерывного контроля целостности электрических цепей в каждом из одновременно испытуемых образцов.

4) Устанавливают требуемое значение температуры испытуемых образцов с отклонением в пределах ±2 °С, если оно отличается от температуры в месте проведения испытаний или температура в месте проведения испытаний может быстро изменяться во времени более чем на 2,0 °С.

5) Подают на испытуемые образцы постоянный ток требуемого значения и прикладывают к каждому из одновременно испытуемых образов циклическую динамическую механическую нагрузку с частотой 3—7 циклов/мин в течение 1000 циклов. Давление прикладывают перпендикулярно лицевой и тыльной поверхностям испытуемого образца, за один цикл постепенно увеличивая его от нуля до (1000 ± 100) Па, затем уменьшая до нуля и увеличивая до (1000 ± 100) Па в противоположном направлении.

При этом в течение всего времени приложения механической нагрузки поддерживают значение температуры испытуемых образцов в пределах на ±2 °С от выбранного значения и следят за отсут-

ствием обрывов электрических цепей в каждом из одновременно испытуемых образцов, регистрируя результаты наблюдений.

Примечание — В испытуемых образцах с несколькими параллельно соединенными цепочками фотоэлектрических элементов разрыв в одной из цепочек приведет к падению напряжения, но оно не будет равно нулю.

Значение тока, подаваемого на испытуемый образец, должно быть равно или незначительно больше, чем 1 % от тока короткого замыкания испытуемого образца при СУИ, что, как правило, достаточно для контроля отсутствия обрывов внутренних электрических цепей испытуемого образца. Допускается проводить испытания при более высоком значении тока, вплоть до значения тока испытуемого образца в точке максимальной мощности при СУИ. В этом случае значение тока необходимо указать в протоколе испытаний. Следует учитывать, что более высокое значение тока может привести к появлению искрения в поврежденных элементах или поврежденных межэлементных соединениях.

6) Если допускается несколько способов установки испытуемых образцов и испытания для каждого из них проводят не одновременно, повторяют этапы 2—5 для каждого способа установки.

7) После воздействия циклической динамической механической нагрузкой все испытуемые образцы должны пройти визуальный контроль по *4.1* и конечную стабилизацию по 3.5 (если она предусмотрена для фотоэлектрических модулей, изготовленных по данной технологии).

4.17.5 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемого образца проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- измерение ВАХ и определение максимальной мощности при СУИ по 4.2.3 или, для двусторонних образцов, при стандартных условиях двусторонней освещенности по 4.2.6;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12;
- электролюминесцентный контроль (см. [23]) при протекании через испытуемый образец в прямом направлении тока, равного току короткого замыкания испытуемого образца $I_{к.з}$ при СУИ и току $0{,}1I_{к.з}$ при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности). При электролюминесцентном контроле выявляют микротрещины и другие повреждения фотоэлектрических элементов, повреждения межэлементных соединений, другие нарушения и дефекты испытуемых образцов. На электролюминесцентном изображении фотоэлектрические элементы с ухудшенными характеристиками будут выглядеть более темными;
- тепловизионный контроль (см. [24]) при протекании через испытуемый образец в прямом направлении тока, равного току испытуемого образца в точке максимальной мощности I_{mpp} при СУИ и току $2I_{mpp}$ при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности). При тепловизионном контроле выявляют зоны местного перегрева;
- проверка целостности контура заземления (уравнивания потенциалов) (см. [7], подраздел 10.11), если необходимо.

Если для тепловизионного или электролюминесцентного контроля необходимо, чтобы значение испытательного тока превышало указанные значения, это следует согласовать с изготовителем испытуемых образцов.

Примечание — Электролюминесцентный, а также тепловизионный контроль являются рекомендуемыми, но не обязательными испытаниями. Для получения наиболее полной информации рекомендуется проводить такой контроль после данного испытания и при начальных испытаниях (см. раздел 4).

4.17.6 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- при проведении испытаний отсутствовали обрывы электрических цепей в испытуемых образцах;
- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- снижение максимальной выходной мощности при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности) не превышает 5 % значения после начальной стабилизации.

Примечание — Существенного снижения максимальной мощности при заключительных испытаниях по настоящему стандарту обычно не происходит. Влияние испытаний по настоящему стандарту на изменение выходных характеристик испытуемых образцов, в частности на максимальную мощность, может проявиться не сразу, а в результате последующих дополнительных воздействий, например воздействия климатических факторов;

- не произошло разрушения изоляции и поверхностного пробоя;
- сопротивление изоляции, измеренное по 4.3, отвечает требованиям 4.3.6;

- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5;

- при сравнении электролюминесцентных и тепловизионных изображений до и после воздействия циклической динамической механической нагрузкой не выявлены функциональные повреждения (если проводили электролюминесцентный и тепловизионный контроль);

- сопротивление между выбранными открытыми проводящими частями и любыми другими проводящими частями испытуемого образца менее 0,1 Ом (если проводили проверку целостности контура заземления/уравнивания потенциалов).

4.18 Испытание на деградацию, вызванную высоким напряжением

4.18.1 Назначение

Испытание предназначено для проверки способности испытуемых фотоэлектрических модулей длительно выдерживать максимальное номинальное напряжение постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую они предназначены.

Примечание — Испытание не предназначено для оценки воздействия на деградацию эффектов поляризации при высоком напряжении, и поэтому их влияние может быть не обнаружено.

Испытания проводят нагревом во влажной среде в испытательной климатической камере по методу А стандартных испытаний на деградацию, вызванную высоким напряжением, для фотоэлектрических модулей на основе кристаллического кремния (см. [26]).

Особенности испытания фотоэлектрических модулей, изготовленных по разным технологиям, установлены в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]). Испытания тонкопленочных фотоэлектрических модулей см. также в [27].

4.18.2 Условия испытания

Испытание проводят при следующих условиях:

- температура испытуемых образцов . . . . . (85 ± 2) °С;
- относительная влажность . . . . . (85 ± 3) %;
- электрическая нагрузка . . . . . максимальное номинальное напряжение постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую предназначены испытуемые образцы, с заданной полярностью, в течение указанной продолжительности выдержки и времени снижения температуры до температуры окружающей среды;
- продолжительность . . . . . 96 ч при указанной температуре и относительной влажности (не включая время их стабилизации).

Требование к точности поддержания температуры испытуемых образцов ±2 °С включает учет таких факторов, как абсолютная ошибка измерений, медленные изменения температуры и изменения температуры в рабочем объеме испытательной климатической камеры. Однако для того, чтобы обеспечить требуемую относительную влажность, необходимо поддерживать разность температур между двумя любыми точками рабочего объема в любой момент времени равной 1 °С или менее. Кроме того, для создания требуемой влажности может быть необходимо поддерживать кратковременные колебания температуры в пределах ±0,5 °С. Для того, чтобы обеспечить требуемые уровни и точность параметров по всей испытываемой области, следует изучить испытательную климатическую камеру и варианты установки испытуемых образцов в ней.

4.18.3 Испытательное оборудование

а) Источник питания постоянного тока, достаточный для создания максимального рабочего напряжения необходимой полярности для испытуемых образцов с током, достаточным для поддержания заданных уровней напряжения с точностью 0,5 %.

б) Изолированный провод с достаточным для испытаний номиналом по напряжению, температуре и влажности, устройства для электрического соединения каждого испытуемого образца, указанные изготовителем, или оснастка для подсоединения к образцам, изготовленная из нержавеющей стали.

в) Средства для измерения и регистрации с периодичностью не более 1 мин следующих параметров:

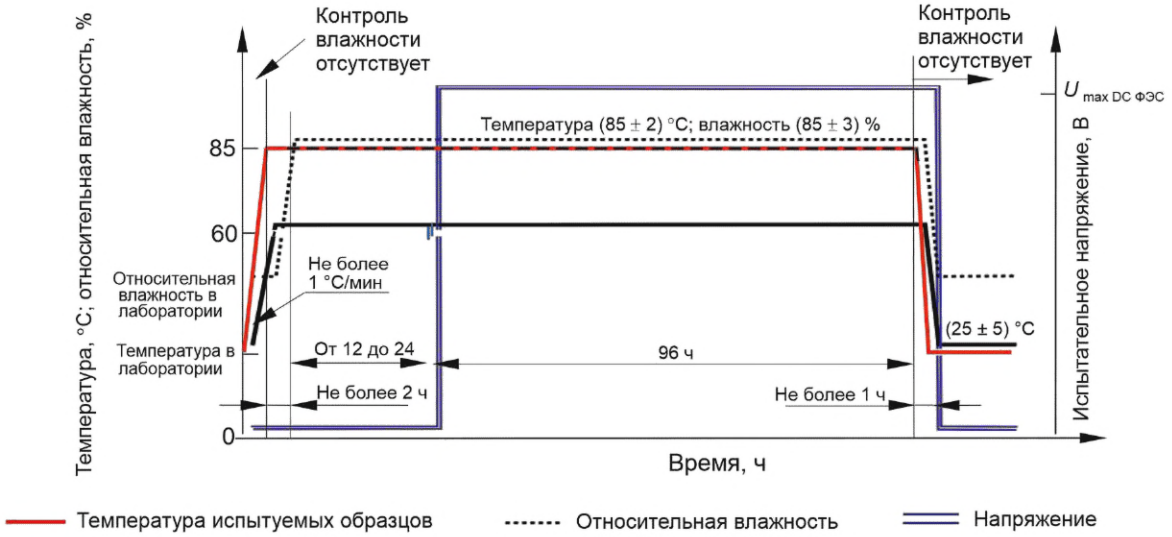
- температуры воздуха и относительной влажности в испытательной климатической камере;

- температуры испытуемых образцов с точностью ±1,0 °С таким образом, что для каждого испытуемого образца с их помощью может быть установлена однородность температуры испытуемого образца и среды, в которой проводят испытания;
- токов утечки испытуемых образцов на землю;
- напряжений смещения (необязательно).

Установленные на испытуемых образцах датчики температуры и влажности и их проводка должны быть электрически изолированы при всех используемых в испытаниях уровнях температуры и влажности, так чтобы они не влияли на значения прикладываемого напряжения и измеряемого тока утечки испытуемых образцов.

Примечание — Регистрация и запись значений тока и напряжения необходимы для контроля за стабильностью и однородностью условий испытаний и отсутствия обрывов цепей и не предназначены для оценки деградации испытуемых образцов.

г) Испытательная климатическая камера с автоматическим управлением температурой и влажностью и средствами минимизации образования конденсата на испытуемых образцах при проведении испытаний и обеспечивающая выполнение циклов изменения температуры испытуемых образцов и влажности в соответствии с рисунком 11. Циркуляция воздуха вокруг испытуемых образцов должна обеспечивать выполнение температурных условий для каждого испытуемого образца.



Примечания

1 График изменения относительной влажности приведен для случая, когда ее значение в лаборатории примерно 45 %. В соответствии с нормальными климатическими условиями испытаний по ГОСТ 30630.0.0 и ГОСТ 15150 ее значение может находиться в пределах от 45 % до 80 %.

2 $U_{max\ DC\ ФЭС}$ — максимальное номинальное напряжение постоянного тока фотоэлектрической системы, для установки в которую предназначены фотоэлектрические модули, а также используют обозначение U_{sys}.

Рисунок 11 — Изменение температуры испытуемого образца, относительной влажности и испытательного напряжения при испытании на деградацию, вызванную высоким напряжением

Должно отсутствовать воздействие на образцы теплового излучения от приборов, служащих для создания условий в испытательной климатической камере. Камеры инжекционного типа должны обеспечивать введение влаги на расстоянии от образца и без прямого попадания на него.

д) Сплошная (не пористая) электрически изолированная поддержка для испытуемых образцов

4.18.4 Проведение испытания

1) Устанавливают датчик температуры в середине лицевой или тыльной поверхности испытуемого образца. Если одновременно проводят испытания нескольких испытуемых образцов, достаточно установить датчик только на одном типичном испытуемом образце.

2) Устанавливают испытуемые образцы в испытательной климатической камере с помощью поддерживающего его сплошного (не пористого) электроизолирующего материала. Обычно испытуемые образцы размещают в произвольном вертикальном положении, однако такое размещение может быть

изменено, если это будет способствовать достижению целей этого метода испытаний, включая улучшения циркуляции воздуха, достижения однородности температуры и относительной влажности, точности и заданных уровней параметров испытаний, или соблюдению специально оговоренных требований по монтажу и заземлению испытуемых образцов.

Примечание — Изолирующие монтажные элементы используются для того, чтобы предотвратить образование иных путей токов утечки между находящимися под напряжением активными фотоэлектрическими элементами (между находящейся под напряжением цепью активных фотоэлектрических элементов) и предусмотренными изготовителем точками заземления, если они имеются, а также для безопасности персонала и оборудования. Для исключения иных путей утечки на землю может также потребоваться дополнительная изоляция отдельных испытуемых образцов друг от друга.

Если изготовителем указано несколько способов установки испытуемых образцов, испытания должны быть проведены отдельно для каждого способа. Для всех способов монтажа испытуемый образец устанавливают в варианте с наихудшим расположением точек крепления. Как правило, это вариант с наибольшим расстоянием между точками крепления.

Гибкие фотоэлектрические модули должны быть установлены в соответствии с рекомендациями изготовителя с указанными подложкой и клеем или средствами крепления/монтажа.

Интегрированные фотоэлектрические модули устанавливают так же, как в условиях эксплуатации, вместе с внешними по отношению к модулю конструкциями, элементами, материалами или их имитаторами, если они влияют на тепловлажностный режим, работу и свойства испытуемых образцов в условиях эксплуатации. Допускается испытывать интегрированные фотоэлектрические модули без указанных конструкций, элементов и материалов, если режим выдержки обоснованно скорректирован с учетом их влияния на работу модулей (см., например, [19]). Описание всех конструкций, элементов, материалов или их имитаторов, их расположение и т. д. или обоснование корректировки режима выдержки и значения параметров режима должны быть внесены в протокол испытаний.

3) Заземляют испытуемые образцы.

Способ присоединения к точке заземления должен соответствовать способу, указанному в руководстве по монтажу испытуемых образцов. При испытании образцов с цельными металлическими рамами с точками заземления, охватывающими периметр испытуемого образца, или с рамами, у которых точки монтажа не предназначены для использования с изолирующими монтажными стойками, зажим заземления источника питания постоянного тока подключают к точке заземления испытуемого образца посредством указанного изготовителем заземляющего устройства, или, если оно не предусмотрено, посредством изолированного провода с кольцевым обжимным наконечником, присоединяемого при помощи гайки, болта и пружинящей шайбы, выполненных из нержавеющей стали. Для обеспечения надежного контакта между соединителем и рамой испытуемого образца тонкий слой покрытия рамы сошлифовывают.

В случае если рамы испытуемых образцов имеют разрывы или если испытуемые образцы имеют неметаллические рамы или металлические рамы с изолирующими поверхностями, которые не могут быть разумным образом оголены шлифованием, все точки крепления испытуемого образца и все существующие точки заземления соединяют между собой и с зажимом заземления источника питания постоянного тока посредством изолированного провода с обжимными винтовыми соединителями и кольцевыми шайбами из нержавеющей стали, обеспечивающими плотный постоянный электрический контакт с испытуемым образцом.

Испытуемые образцы без рам (безрамные фотоэлектрические модули) должны быть испытаны совместно с монтажными кронштейнами, которые должны целиком отвечать требованиям руководства по монтажу испытуемых образцов. Если в руководстве по монтажу такие указания отсутствуют или не указана конкретная модель монтажного кронштейна либо материал и размеры кронштейна, на испытуемые образцы по периметру электропроводящим клеем приклеивают электропроводящую фольгу с покрытием ею пространства от краев испытуемого образца до цепей активных фотоэлектрических элементов. Эта фольга, имитирующая заземленную раму испытуемого образца, должна быть соединена с зажимом заземления источника питания постоянного тока.

В испытаниях следует соблюдать рекомендации изготовителя по монтажу, которые могут повлиять на значение электрического сопротивления между поверхностями испытуемого образца и землей. В частности, если испытуемый образец снабжен или предназначен для монтажа с изолирующей конструкцией и не рассчитан на соединение с землей или обязательно отсутствие заземления, по возможности следует соблюсти указанный изготовителем способ монтажа. Во время испытаний основание та-

кой конструкции и/или та часть, которая предназначена для крепления на здании или на почве, должны быть тщательно заземлены и соединены с зажимом заземления источника питания постоянного тока.

4) Подключают прибор для регистрации температуры к датчику температуры испытуемого образца.

5) Соединяют положительный и отрицательный выводы испытуемого образца между собой и с соответствующими выводами источника питания постоянного тока посредством изолированного провода с номиналом, соответствующим испытательному напряжению.

6) Закрывают испытательную климатическую камеру и проводят выдержку в соответствии с графиком, приведенным на рисунке 11. При этом должна вестись непрерывная запись показаний измерительных приборов. Температура в климатической камере должна повышаться от нормальной температуры окружающей среды до заданного значения, принятого в данных испытаниях (см. 7.2.2). После того, как температура испытуемых образцов стабилизируется на уровне (85 ± 2) °С, увеличивают относительную влажность до заданного уровня. После того как температура и относительная влажность достигли заданных значений, выдерживают образцы от 12 до 24 ч для стабилизации климатических параметров и подают испытательное напряжение в течение 96 ч.

Выход на требуемый уровень параметров испытаний, выдержка и возврат к нормальным условиям должны происходить в постоянном и непрерывном режиме.

В течение выдержки непрерывно регистрируют температуру испытуемых образцов, обрывы электрических цепей образцов, а также ток, протекающий через образцы, и напряжение образцов.

7) Прекращают поддержку относительной влажности и одновременно начинают охлаждение испытательной климатической камеры так, чтобы испытуемые образцы достигли температуры окружающей среды (25 °С или ниже) не более чем через 1 ч. Подача испытательного напряжения прекращается после достижения испытуемыми образцами температуры (25 ± 5) °С.

8) Отключают прибор для регистрации температуры испытуемых образцов от датчика температуры и испытуемые образцы от источников питания постоянного тока.

9) Вынимают испытуемые образцы из испытательной климатической камеры (если восстановление проводят вне климатической камеры).

Параметры условий испытаний и продолжительность испытаний должны быть четко указаны в протоколе испытаний.

4.18.5 Заключительные испытания

После восстановления в течение не менее 2 ч при температуре окружающего воздуха (23 ± 5) °С, относительной влажности не более 75 % и атмосферном давлении 84,0—106,7 кПа (см. [26]) проводят визуальный контроль по 4.1 и испытание изоляции на влагостойкость по 4.12. Затем проводят конечную стабилизацию и выполняют заключительные испытания всей программы испытаний (см. ГОСТ 35322.1—2025, рисунок 2) кроме испытания изоляции на влагостойкость.

Испытание изоляции на влагостойкость должно быть выполнено в течение 8 ч после окончания выдержки. До начала конечной стабилизации испытуемых образцов должно пройти не более 48 ч. Время между завершением конечной стабилизации и началом измерения ВАХ при СУИ по 4.2.3 (для двусторонних образцов, также при стандартных условиях двусторонней освещенности по 4.2.6) — не более 48 ч или срок, указанный в процедуре стабилизации для конкретной технологии изготовления фотоэлектрических модулей в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]), если он меньше.

Конечную стабилизацию проводят, как указано в стандарте для данной технологии изготовления фотоэлектрических модулей, см. ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4, а также [1].

Чтобы максимизировать повторяемость, когда может присутствовать частично обратимая деградация, испытуемые образцы должны храниться до и между заключительными испытаниями в контролируемых условиях: в помещении, в темноте при температуре не более 25 °С.

Для двусторонних испытуемых образцов при определении максимальной мощности при СУИ также определяют коэффициенты двусторонности (см. [10]).

4.18.6 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- отсутствуют обрывы электрических цепей образцов;
- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- снижение максимальной выходной мощности при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности) не превышает 5 % значения после начальной стабилизации;

- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

4.19 Испытание на изгиб

4.19.1 Назначение

Испытание проводят только с гибкими фотоэлектрическими модулями.

Испытание предназначено для проверки того, что испытуемый гибкий фотоэлектрический модуль можно свернуть без повреждений, по крайней мере в одном направлении с образованием радиуса кривизны, указанного изготовителем.

Если руководство по монтажу допускает изгиб более чем в одном направлении, испытание следует проводить при наихудших условиях.

Испытание может быть выполнено на замещающем образце, как описано в ГОСТ 35322.1—2025, раздел 5.

4.19.2 Испытательное оборудование

а) Жесткое испытательное основание для размещения испытуемого образца в плоском виде.

б) Цилиндр диаметром в два раза больше радиуса кривизны испытуемого образца, указанного изготовителем.

в) Приборы для регистрации обрывов электрических цепей испытуемого образца во время испытаний.

г) Средства контроля температуры окружающей среды и, если необходимо, средства для обеспечения ее значения на уровне (25 ± 5) °С.

4.19.3 Проведение испытания

Испытания проводят при температуре окружающей среды (25 ± 5) °С.

1) Размещают испытуемый образец на плоскости испытательного основания в развернутом виде, таким образом, чтобы он был плоским.

2) Подключают к испытуемому образцу приборы, с помощью которых можно обнаружить обрыв внутренних электрических цепей испытуемого образца во время испытаний.

3) Оборачивают испытуемый образец вокруг цилиндра из плоского развернутого исходного положения. Если размер испытуемого образца, вдоль которого его оборачивают вокруг цилиндра, равен или более радиуса кривизны испытуемого образца, умноженного на 2π, испытуемый образец следует обернуть вокруг цилиндра на 360° или более в соответствии с размером образца.

4) Разворачивают испытуемый образец в исходное плоское положение.

5) Повторяют этапы 3 и 4 еще 25 раз.

4.19.4 Заключительные испытания

Для оценки изменения состояния испытуемых образцов проводят следующие испытания:

- визуальный контроль по 4.1;
- измерение ВАХ и определение максимальной мощности при СУИ по 4.2.3 или, для двусторонних образцов, при стандартных условиях двусторонней освещенности по 4.2.6;
- испытание изоляции на влагостойкость по 4.12.

4.19.5 Оценка результатов испытания

Испытуемые образцы считают выдержавшими испытание, если:

- при проведении испытаний отсутствовали обрывы электрических цепей в испытуемых образцах;
- отсутствуют видимые функциональные повреждения по ГОСТ 35322.1—2025, раздел 8;
- снижение максимальной мощности при СУИ (для двусторонних образцов — при стандартных условиях двусторонней освещенности) не превышает 5 % значения после начальной стабилизации;
- сопротивление изоляции, измеренное при проведении испытания изоляции на влагостойкость, отвечает требованиям 4.12.5.

Приложение А
(справочное)

Обозначения методов испытаний плоских наземных фотоэлектрических модулей, принятые в Международной электротехнической комиссии

Таблица А.1

Испытание	Обозначение испытания при подтверждении соответствия	
	техническим требованиям, IEC 61215-2	требованиям безопасности, IEC 61730-2 [7]
Стабилизация: начальная стабилизация конечная стабилизация стабилизация с помощью светоиндуцированной бор-кислородной деградации	MQT 19 MQT 19.1 MQT 19.2 MQT 19.3	—
Визуальный контроль	MQT 01	MST 01
Измерение вольт-амперных характеристик: при стандартных условиях испытаний (СУИ) при выбранных условиях по энергетической освещенности и температуре в условиях низкой освещенности (УНО)	 MQT 06 MQT 02 MQT 07	 MST 02 MST 03 —
Измерение сопротивления изоляции	MQT 03	MST 16
Определение температурных коэффициентов	MQT 04	—
Испытание на комплексное воздействие факторов окружающей среды в натурных условиях	MQT 08	—
Испытание на стойкость к местному перегреву	MQT 09	MST 22
Испытание на воздействие ультрафиолетового излучения	MQT 10	MST 54
Термоциклирование	MQT 11	MST 51
Термоциклирование при высокой влажности	MQT 12	MST 52
Испытание на воздействие высокой температуры при высокой влажности	MQT 13	MST 53
Проверка прочности внешних соединений: проверка прочности крепления коммутационной коробки проверка прочности закрепления кабелей и проводов[1)]	MQT 14 MQT 14.1 MQT 14.2	MST 42
Испытание изоляции на влагостойкость	MQT 15	MST 17
Испытание на воздействие статической механической нагрузки	MQT 16	MST 34
Испытание на стойкость к ударам града	MQT 17	—
Испытания шунтирующих/блокирующих диодов: - испытание шунтирующих/блокирующих диодов на термостойкость - испытание шунтирующих/блокирующих диодов на работоспособность	MQT 18 MQT 18.1 MQT 18.2	— MST 25 MST 07
Испытания на воздействие циклической (динамической) механической нагрузки	MQT 20	—
Испытания на деградацию, вызванную высоким напряжением	MQT 21	—
Испытание на изгиб	MQT 22	—

Окончание таблицы А.1

Испытание	Обозначение испытания при подтверждении соответствия	
	техническим требованиям, IEC 61215-2	требованиям безопасности, IEC 61730-2 [7]
Испытание маркировки на стойкость к истиранию	—	MST 05
Проверка остроты кромок	—	MST 06

[1)] Для подтверждения прочности закрепления кабелей и проводов в испытуемых фотоэлектрических модулях достаточно того, чтобы она была проверена при испытаниях коммутационных коробок и испытаниях электрических соединителей, если соединители установлены (см. раздел 4 и таблицу 1).

Примечание — Аббревиатура обозначений испытаний расшифровывается следующим образом:

- MST — испытание на соответствие требованиям безопасности (measurement safety test);
- MQT — испытание на соответствие техническим требованиям (measurement quality test).

Приложение Б
(справочное)

Нормативные условия испытаний фотоэлектрического оборудования для определения выходных характеристик постоянного тока

Стандартные условия испытаний (СУИ):

- суммарная энергетическая освещенность плоскости рабочей поверхности (односторонняя) . . . . . (1000 ± 100) Вт/м^2;
- температура элемента . . . . . (25 ± 2) °С;
- спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]).

Стандартные условия двусторонней освещенности:

- энергетическая освещенность лицевой поверхности . . . . . (1000 ± 100) Вт/м^2;
- энергетическая освещенность тыльной поверхности . . . . . (135 ± 13,5) Вт/м^2;
- температура элемента . . . . . (25 ± 2) °С;
- спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]).

Примечание — Если нет возможности обеспечить указанную энергетическую освещенность с двух сторон испытуемого фотоэлектрического модуля, допускается использовать одностороннее освещение модуля с лицевой стороны (см. *[10]*). Значение такой односторонней энергетической освещенности определяют по формуле

$$E_{\mathrm{BNPI}} = 1000 + 135\varphi_{I_{\text{к.з.}}}, \qquad (Б.1)$$

где $\varphi_{I_{\text{к.з.}}}$ — коэффициент двусторонности по току короткого замыкания испытуемого фотоэлектрического модуля (определение для фотоэлектрических модулей — см. ГОСТ 35322.1—2025, подраздел 3.25).

Условия повышенной двусторонней освещенности:

- суммарная энергетическая освещенность лицевой поверхности . . . . . (1000 ± 100) Вт/м^2;
- суммарная энергетическая освещенность тыльной поверхности . . . . . (300 ± 30) Вт/м^2;
- температура элемента . . . . . (25 ± 2) °С;
- спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]).

Примечание — Если нет возможности обеспечить указанную энергетическую освещенность с двух сторон модуля, допускается использовать одностороннее освещение модуля с лицевой стороны (см. [10]). Значение такой односторонней энергетической освещенности определяют по формуле

$$E_{\mathrm{BSI}} = 1000 + 300\varphi_{I_{\text{к.з.}}}. \qquad (Б.2)$$

Условия низкой освещенности (УНО):

- суммарная энергетическая освещенность плоскости рабочей поверхности (односторонняя) . . . . . (200 ± 20) Вт/м^2;
- температура элемента . . . . . (25 ± 2) °С;
- спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]).

Условия высокой температуры (УВТ):

- суммарная энергетическая освещенность плоскости рабочей поверхности (односторонняя) . . . . . (1000 ± 100) Вт/м^2;
- температура элемента . . . . . (75 ± 2) °С;
- спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]).

Условия низкой температуры (УНТ):

- суммарная энергетическая освещенность плоскости рабочей поверхности (односторонняя) . . . . . (500 ± 50) Вт/м^2;
- температура элемента . . . . . (15 ± 2) °С;
- спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]).

Стандартные внешние условия (СВУ):

- суммарная энергетическая освещенность плоскости рабочей поверхности (односторонняя) . . . . . (800 ± 80) Вт/м^2;
- температура окружающей среды . . . . . (20 ± 2) °С;
- скорость ветра . . . . . 1 м/с;
- угол наклона . . . . . (37 ± 5) °;
- электрическая нагрузка . . . . . омическая нагрузка, значение которой выбирается таким образом, чтобы испытуемый образец работал вблизи точки максимальной мощности при СУИ, или обеспечиваемая устройством слежения за точкой максимальной мощности;
- условия монтажа . . . . . открытая тыльная сторона («в открытой стойке»).

Условия номинальной рабочей температуры элемента (НРТЭ):

- суммарная энергетическая освещенность плоскости рабочей поверхности (односторонняя) . . . . . (800 ± 80) Вт/м^2;
- температура окружающей среды . . . . . (20 ± 2) °С;
- температура элемента . . . . . НРТЭ;
- спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]).

Условия номинальной рабочей температуры модуля (НРТМ):

- суммарная энергетическая освещенность (односторонняя) . . . . . (800 ± 80) Вт/м^2;
- температура окружающей среды . . . . . (20 ± 2) °С;
- температура модуля . . . . . НРТМ;
- спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]).

Стандартные условия испытаний фотоэлектрических устройств и систем с концентраторами (СУИК):

- энергетическая освещенность апертуры . . . . . (1000 ± 100) Вт/м^2;
- температура элемента . . . . . (25 ± 2) °С;
- прямое излучение;
- световой поток направлен нормально к воспринимающей поверхности;
- спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]).

Стандартные рабочие условия фотоэлектрических устройств и систем с концентраторами (СРУК):

- энергетическая освещенность апертуры . . . . . (900 ± 90) Вт/м^2;
- температура окружающей среды . . . . . (20 ± 2) °С;
- прямое излучение;
- световой поток направлен нормально к воспринимающей поверхности;
- спектральный состав: АМ 1,5 (см. [16]);
- скорость ветра . . . . . 2 м/с.

Примечания

1 При определении значения энергетической освещенности прямого излучения, направленного нормально к воспринимающей поверхности, для фотоэлектрических приборов и систем с концентраторами, использующих одноосную систему слежения за Солнцем, должна быть сделана поправка на угол падения.

2 Если фотоэлектрические приборы (приемники излучения), например фотоэлектрические модули, испытывают без концентратора, энергетическая освещенность должна быть равна указанной энергетической освещенности, умноженной на максимальный коэффициент концентрации, для работы при котором предназначен испытуемый прибор.

Приложение В
(обязательное)

Местный перегрев в фотоэлектрических модулях и типы соединений фотоэлектрических элементов, защищенных шунтирующими диодами

В.1 Местный перегрев в фотоэлектрических модулях

Области местного перегрева возникают в фотоэлектрическом модуле, когда протекающий через него рабочий ток превышает ток короткого замыкания затененного или поврежденного фотоэлектрического элемента или нескольких фотоэлектрических элементов. Такой(ие) фотоэлектрический(ие) элемент(ы) попадает(ют) под обратное смещение и выделяет(ют) тепло, что может привести к его (их) перегреву.

Перегрев может быть вызван, например, повреждением или рассогласованием параметров фотоэлектрических элементов, повреждением соединений, частичным затенением или загрязнением.

Если выделение тепла достаточно велико или достаточно сконцентрировано, фотоэлектрические элементы с обратным смещением могут перегреваться, что может привести к плавлению пайки, ухудшению герметизации тыльного или лицевого покрытий, растрескиванию подложки и покрытий. Для предотвращения повреждений вследствие местного перегрева устанавливают шунтирующие диоды.

Обратные характеристики фотоэлектрических элементов могут существенно отличаться. С точки зрения особенностей местного перегрева различают два типа фотоэлектрических элементов: элементы с высоким шунтирующим сопротивлением, у которых обратные характеристики ограничены по напряжению, и элементы с низким шунтирующим сопротивлением, у которых обратные характеристики ограничены по току.

В случае фотоэлектрических элементов с низким шунтирующим сопротивлением:

- наихудший вариант затенения происходит при полном затенении фотоэлектрического элемента (или его большей части);
- отказы вследствие местного перегрева происходят очень быстро, поскольку нагрев носит локальный характер;
- низкое шунтирующее сопротивление часто образуется за счет возникновения локальных проводимостей. В этом случае местный перегрев обусловлен большими токами в небольшой области. Поскольку это явление носит локальный характер, характеристики фотоэлектрических элементов такого типа имеют большой разброс. При образовании обратного смещения фотоэлектрические элементы с низким шунтирующим сопротивлением имеют высокую вероятность функционирования при температурах перегрева.

Основной технической проблемой при проведении испытаний фотоэлектрических модулей на основе элементов с низким шунтирующим сопротивлением является выявление элементов с наименьшим шунтирующим сопротивлением и определение после этого наихудшего варианта затенения таких элементов. Особенности проведения этой части испытаний определяются технологией изготовления испытуемых фотоэлектрических модулей и установлены в ГОСТ 35322.1.1, ГОСТ 35322.1.3 или ГОСТ 35322.1.4 (см. также [1]).

В случае фотоэлектрических элементов с высоким шунтирующим сопротивлением:

- наихудший вариант затенения образуется при частичном затенении элемента;
- повреждение перехода и возникновение высокой температуры происходит медленнее. Для образования наихудших условий местного перегрева затенение должно сохраняться в течение некоторого времени.

Порядок проведения испытаний на стойкость к местному перегреву определяется наличием, количеством и размещением шунтирующих диодов в испытуемом образце, технологией изготовления фотоэлектрических модулей и типом соединения фотоэлектрических элементов, защищаемых одним шунтирующим диодом.

Шунтирующие диоды, если они установлены, ограничивают обратное напряжение охватываемых ими фотоэлектрических элементов. Поэтому следует проводить отдельно испытание каждой части электрической цепи испытуемого образца, охватываемой одним диодом.

Максимальное внутреннее рассеяние энергии в шунтирующем диоде возникает при коротком замыкании участка цепи, защищенного этим диодом. Обычно для единичного модуля состояние максимально возможного внутреннего рассеяния возникает, когда один диод охватывает всю электрическую цепь модуля, а для модуля, соединенного с другими модулями в фотоэлектрической системе, — когда один диод охватывает максимально возможное количество последовательно соединенных модулей. Поэтому, если в испытуемом образце не установлены шунтирующие диоды, их следует устанавливать исходя из максимального допустимого количества фотоэлектрических модулей в фотоэлектрической цепочке, указанного изготовителем.

В.2 Типы соединений фотоэлектрических элементов, защищенных шунтирующими диодами

Соединения фотоэлектрических элементов в фотоэлектрическом модуле разделяют на три основных типа:

- последовательное соединение всех фотоэлектрических элементов модуля, защищенное одним или несколькими шунтирующими диодами (*s*-фотоэлектрических элементов на рисунке В.1);

- параллельно-последовательное соединение, защищенное одним шунтирующим диодом, т. е. последовательное соединение *s*-групп, состоящих из *p* параллельно соединенных фотоэлектрических элементов каждая (рисунок В.2);
- последовательно-параллельное соединение, защищенное одним шунтирующим диодом, т. е. параллельное соединение *p*-цепочек, состоящих из *s* последовательно соединенных фотоэлектрических элементов каждая (рисунок В.3).

Примечание — В международной практике также приняты следующие обозначения указанных типов соединений фотоэлектрических элементов: последовательное соединение — тип S; параллельно-последовательное соединение — тип PS; последовательно-параллельное соединение — тип SP.

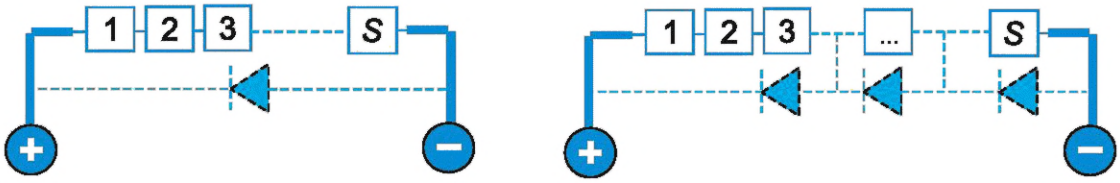


Рисунок В.1 — Последовательное соединение фотоэлектрических элементов, защищаемое одним или тремя шунтирующими диодами

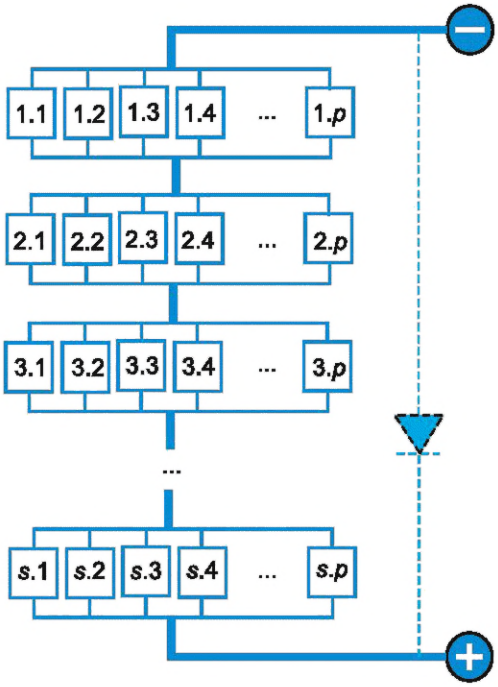


Рисунок В.2 — Параллельно-последовательное соединение фотоэлектрических элементов, защищаемое одним шунтирующим диодом

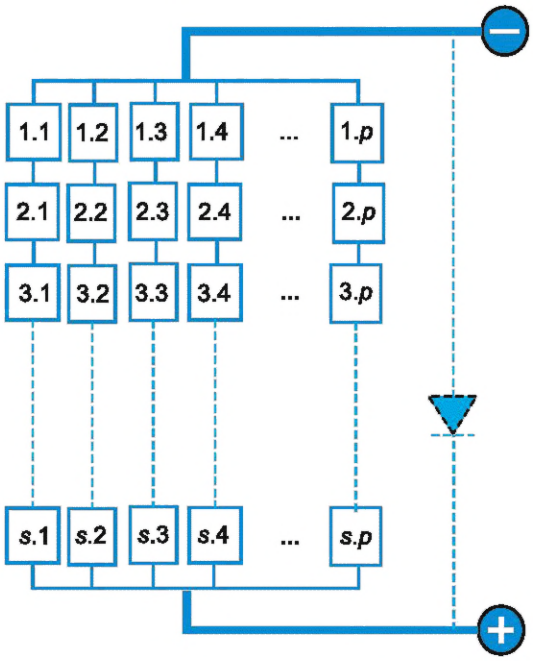


Рисунок В.3 — Последовательно-параллельное соединение фотоэлектрических элементов, защищаемое одним шунтирующим диодом

В общем случае, приведенных ниже вариантов испытаний для трех основных типов соединений фотоэлектрических элементов достаточно для того, чтобы оценить стойкость к местному перегреву практически всех вариантов фотоэлектрических модулей. Другие типы соединений фотоэлектрических элементов могут быть сведены к одному из указанных трех типов.

Библиография

[1] IEC 61215-1-2:2022 Terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval — Part 1-2: Special requirements for testing of thin-film Cadmium Telluride (CdTe) based photovoltaic (PV) modules (Модули наземные фотоэлектрические. Оценка соответствия техническим требованиям. Часть 1-2. Специальные требования к испытаниям фотоэлектрических тонкопленочных модулей на основе теллурида кадмия CdTe)

[2] IEC 62108:2022[1)] Concentrator photovoltaic (CPV) modules and assemblies — Design qualification and type approval [Модули фотоэлектрические концентраторные (CPV) и модули в сборе. Оценка конструкции и одобрение типа продукции]

[3] IEC 60904-1-1:2017 Photovoltaic devices — Part 1-1: Measurement of current-voltage characteristics of multi-junction photovoltaic (PV) devices (Приборы фотоэлектрические. Часть 1-1. Измерение вольт-амперных характеристик многопереходных фотоэлектрических приборов)

[4] IEC 60904-8-1:2017 Photovoltaic devices — Part 8-1: Measurement of spectral responsivity of multi-junction photovoltaic (PV) devices (Приборы фотоэлектрические. Часть 8-1. Измерение спектральной чувствительности многопереходных фотоэлектрических приборов)

[5] IEC 61701:2020[2)] Photovoltaic (PV) modules — Salt mist corrosion testing (Модули фотоэлектрические. Испытание на коррозию в солевом тумане)

[6] IEC 62716:2013[3)] Photovoltaic (PV) modules — Ammonia corrosion testing (Модули фотоэлектрические. Испытания на коррозию под действием аммиака)

[7] IEC 61730-2:2023[4)] Photovoltaic (PV) module safety qualification — Part 2: Requirements for testing (Модули фотоэлектрические. Оценка безопасности. Часть 2. Требования к испытаниям)

[8] IEC 60904-9:2020[5)] Photovoltaic devices — Part 9: Classification of solar simulator characteristics (Приборы фотоэлектрические. Часть 9. Классификация характеристик имитаторов солнечного излучения)

[9] IEC 60904-1:2020[6)] Photovoltaic devices — Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics (Приборы фотоэлектрические. Часть 1. Измерение фотоэлектрических вольт-амперных характеристик)

[10] IEC/TS 60904-1-2:2024 Photovoltaic devices — Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices (Приборы фотоэлектрические. Часть 1-2. Измерение вольт-амперных характеристик двусторонних фотоэлектрических приборов)

[1)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 56983—2016 (МЭК 62108:2007) «Устройства фотоэлектрические с концентраторами. Методы испытаний».

[2)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 61701—2013 «Модули фотоэлектрические. Испытания на коррозию в солевом тумане».

[3)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 56979—2016 (МЭК 62716:2013) «Модули фотоэлектрические. Испытания на стойкость к воздействию аммиака».

[4)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 58809.2—2020 (МЭК 61730-2:2016) «Модули фотоэлектрические. Оценка безопасности. Часть 2. Методы испытаний». В Республике Казахстан действует СТ РК IEC 61730-2—2020 «Оценка безопасности фотоэлектрических модулей. Часть 2. Методы испытаний». В Республике Беларусь действует ГОСТ IEC 61730-2—2019 «Модули фотоэлектрические. Оценка безопасности. Часть 2. Требования к испытаниям».

[5)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60904-9—2016 «Приборы фотоэлектрические. Часть 9. Требования к характеристикам имитаторов солнечного излучения».

[6)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60904-1—2013 «Приборы фотоэлектрические. Часть 1. Измерение вольт-амперных характеристик».

[11] IEC/TR 60904-14:2020 Photovoltaic devices — Part 14: Guidelines for production line measurements of single-junction PV module maximum power output and reporting at standard test conditions (Приборы фотоэлектрические. Часть 14. Руководящие указания по проведению линейных измерений максимальной выходной мощности однопереходных фотоэлектрических модулей и составлению отчетов при стандартных условиях испытаний)

[12] IEC 60904-2:2023[1)] Photovoltaic devices — Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices (Приборы фотоэлектрические. Часть 2. Требования к эталонным фотоэлектрическим приборам)

[13] IEC 60904-8:2014[2)] Photovoltaic devices — Part 8: Measurement of spectral responsivity of a photovoltaic (PV) device (Приборы фотоэлектрические. Часть 8. Измерение спектральной чувствительности фотоэлектрического прибора)

[14] IEC 60904-7:2019[3)] Photovoltaic devices — Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices (Приборы фотоэлектрические. Часть 7. Вычисление поправки на спектральное несоответствие при испытаниях фотоэлектрических приборов)

[15] IEC 60904-10:2020 Photovoltaic devices — Part 10: Methods of linear dependence and linearity measurements (Приборы фотоэлектрические. Часть 10. Методы определения линейной зависимости и линейности характеристик)

[16] IEC 60904-3:2019 Photovoltaic devices — Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data (Приборы фотоэлектрические. Часть 3. Принципы измерения характеристик фотоэлектрических приборов с учетом стандартной спектральной плотности энергетической освещенности наземного солнечного излучения)

[17] IEC 60891:2021 Photovoltaic devices — Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics (Приборы фотоэлектрические. Методики коррекции по температуре и энергетической освещенности результатов измерения вольт-амперной характеристики)

[18] IEC 61730-1:2023[4)] Photovoltaic (PV) module safety qualification — Part 1: Requirements for construction (Модули фотоэлектрические. Оценка безопасности. Часть 1. Требования к конструкции)

[19] IEC/TS 63126:2020 Guidelines for qualifying PV modules, components and materials for operation at high temperatures (Руководящие указания по оценке фотоэлектрических модулей, компонентов и материалов для работы при высоких температурах)

[20] IEC 62790:2020[5)] Junction boxes for photovoltaic modules — Safety requirements and tests (Коробки коммутационные для фотоэлектрических модулей. Требования безопасности и испытания)

[1)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60904-2—2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Приборы фотоэлектрические. Часть 2. Требования к эталонным солнечным приборам».

[2)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60904-8—2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Приборы фотоэлектрические. Часть 8. Измерение спектральной чувствительности фотоэлектрических приборов».

[3)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60904-7—2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Приборы фотоэлектрические. Часть 7. Вычисление поправки на спектральное несоответствие при испытаниях фотоэлектрических приборов».

[4)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 58809.1—2020 (МЭК 61730-1:2016) «Модули фотоэлектрические. Оценка безопасности. Часть 1. Требования безопасности». В Республике Казахстан действует СТ РК IEC 61730-1—2020 «Оценка безопасности фотоэлектрических модулей. Часть 1. Требования к конструкции». В Республике Беларусь действует ГОСТ IEC 61730-1—2019 «Модули фотоэлектрические. Оценка безопасности. Часть 1. Требования к конструкции».

[5)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 56981—2016 (МЭК 62790:2014) «Модули фотоэлектрические. Коммутационные коробки. Требования безопасности и испытания».

[21] IEC 62852:2014[1)] Connectors for DC-application in photovoltaic systems — Safety requirements and tests (Соединители постоянного тока для фотоэлектрических систем. Требования безопасности и испытания)

[22] IEC 62938:2020[2)] Photovoltaic (PV) modules — Non-uniform snow load testing (Модули фотоэлектрические. Испытание на неравномерную снеговую нагрузку)

[23] IEC/TS 60904-13:2018 Photovoltaic devices — Part 13: Electroluminescence of photovoltaic modules (Приборы фотоэлектрические. Часть 13. Электролюминесценция фотоэлектрических модулей)

[24] IEC/TS 62446-3:2017 Photovoltaic (PV) systems — Requirements for testing, documentation and maintenance — Part 3: Photovoltaic modules and plants — Outdoor infrared thermography (Системы фотоэлектрические. Требования к испытаниям, документации и техническому обслуживанию. Часть 3. Фотоэлектрические модули и станции. Наружная инфракрасная термография)

[25] IEC/TS 62782:2016[3)] Photovoltaic (PV) modules — Cyclic (dynamic) mechanical load testing [Модули фотоэлектрические. Испытание под циклической (динамической) механической нагрузкой]

[26] IEC/TS 62804-1:2015[4)] Photovoltaic (PV) modules — Test methods for the detection of potential-induced degradation — Part 1: Crystalline silicon (Модули фотоэлектрические. Методы испытания на деградацию, вызванную электрическим потенциалом. Часть 1. Фотоэлектрические модули на основе кристаллического кремния)

[27] IEC/TS 62804-2:2022 Photovoltaic (PV) modules — Test methods for the detection of potential-induced degradation — Part 2: Thin-film (Модули фотоэлектрические. Испытания на деградацию, вызванную высоким напряжением. Часть 2. Тонкие пленки)

[1)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 57230—2016 (МЭК 62852:2014) «Системы фотоэлектрические. Соединители постоянного тока. Классификация, требования к конструкции и методы испытаний».

[2)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 59777—2021 (МЭК 62938:2020) «Модули фотоэлектрические. Испытание на неравномерную снеговую нагрузку».

[3)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 58646—2019 (IEC/TS 62782:2016) «Модули фотоэлектрические. Испытания под циклической (динамической) механической нагрузкой».

[4)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 57902—2017 (IEC/TS 62804-1:2015) «Модули фотоэлектрические. Испытания на деградацию, вызванную высоким напряжением. Часть 1. Фотоэлектрические модули на основе кристаллического кремния».

УДК 697.329:006.354 МКС 27.160 NEQ

Ключевые слова: модули фотоэлектрические для наземного применения, соответствие техническим требованиям, методы испытаний

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 13.11.2025. Подписано в печать 01.12.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 7,11.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru