ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ

ПНСТ 43— 2015 (ИСО 9806-3: 1995)

Возобновляемая энергетика

УСТАНОВКИ СОЛНЕЧНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ И ИХ КОМПОНЕНТЫ

Методы испытаний солнечных коллекторов

Часть 3

Тепловые характеристики, включая перепад давления, неостекленных коллекторов с жидким теплоносителем (передача только значимых количеств тепла)

ISO 9806-3:1995
Test methods for solar collectors — Part 3: Thermal performance of unglazed liquid heating collectors (sensible heat transfer only) including pressure drop (MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации 330 «Процессы, оборудование и энергетические системы на основе возобновляемых источников энергии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 июня 2015 г. № 18-пнст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 9806-3:1995 «Методы испытаний солнечных коллекторов. Часть 3. Тепловые характеристики, включая перепад давления, неостекленных коллекторов с жидким теплоносителем (передача только значимых количеств тепла)» (ISO 9806-3:1995 «Test methods for solar collectors — Part 3: Thermal performance of unglazed liquid heating collectors (sensible heat transfer only) including pressure drop») путем изменения отдельных фраз (слов, значений показателей), которые выделены в тексте курсивом.

В настоящий стандарт не включена библиография ИСО 9806-3:1995 в соответствии с ГОСТ Р 1.7—2008, ссылки на соответствующие документы в тексте отсутствуют.

Внесение указанных технических отклонений направлено на учет особенностей объекта и аспекта стандартизации, характерных для Российской Федерации

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за девять месяцев до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: 123007, г. Москва, ул. Шеногина, д. 4 и в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии по адресу: Ленинский проспект, д. 9, Москва В-49, ГСП-1, 119991.

В случае отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты» и журнале «Вестник технического регулирования». Уведомление будет размещено также на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2016

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

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 2
4 Символы и единицы измерения . . . 2
5 Установка и размещение коллектора . . . 2
5.1 Общие положения . . . 2
5.2 Монтажная рама коллектора . . . 2
5.3 Размеры модулей испытуемого коллектора . . . 2
5.4 Угол наклона . . . 2
5.5 Расположение коллектора на открытом воздухе . . . 3
5.6 Затенение от прямого солнечного излучения . . . 3
5.7 Рассеянная и отраженная солнечная радиация . . . 3
5.8 Длинноволновое излучение . . . 3
5.9 Скорость воздушного потока . . . 3
6 Оборудование . . . 4
6.1 Измерение солнечного излучения . . . 4
6.2 Измерение длинноволнового излучения . . . 4
6.3 Измерение температуры . . . 5
6.4 Измерение расхода жидкости в коллекторе . . . 6
6.5 Измерение скорости воздушного потока . . . 6
6.6 Измерение давления . . . 6
6.7 Время испытаний . . . 6
6.8 Оборудование/регистратор данных . . . 6
6.9 Площадь коллектора . . . 7
6.10 Объем жидкого теплоносителя коллектора . . . 7
7 Испытательная установка . . . 7
7.1 Общие положения . . . 7
7.2 Жидкость теплоносителя . . . 8
7.3 Трубопровод и водопроводная арматура . . . 8
7.4 Насос и устройства управления расходом жидкости . . . 9
7.5 Регулирование температуры жидкости теплоносителя . . . 9
8 Испытание на производительность в установившемся режиме на открытом воздухе . . . 9
8.1 Испытательная установка . . . 9
8.2 Предварительная подготовка коллектора . . . 9
8.3 Условия проведения испытаний . . . 9
8.4 Методика испытаний . . . 10
8.5 Измерения . . . 10
8.6 Продолжительность испытаний . . . 10
8.7 Представление результатов . . . 11
8.8 Вычисление производительности коллектора . . . 11
8.9 Вычисление длинноволнового излучения на открытом воздухе . . . 12
9 Испытание на определение КПД в установившемся режиме с искусственным источником излучения . . . 12
9.1 Общие положения . . . 12

9.2 Искусственный источник излучения для испытания на определение КПД в установившемся режиме . . . 12
9.3 Испытательная установка . . . 13
9.4 Предварительная подготовка коллектора . . . 13
9.5 Условия испытания . . . 13
9.6 Длительность испытания . . . 13
9.7 Методика испытаний . . . 13
9.8 Измерения при испытаниях с искусственными источниками излучения . . . 13
9.9 Обработка и представление результатов . . . 14
10 Определение эффективной теплоемкости и постоянной времени коллектора . . . 14
10.1 Общие положения . . . 14
10.2 Определение эффективной теплоемкости коллектора . . . 14
10.3 Методика испытаний постоянной времени коллектора . . . 14
10.4 Расчет постоянной времени коллектора . . . 15
11 Определение перепада давления в поперечном сечении коллектора . . . 15
11.1 Общие положения . . . 15
11.2 Испытательная установка . . . 15
11.3 Методика испытаний . . . 15
11.4 Условия испытаний . . . 15
11.5 Измерения . . . 15
11.6 Перепад давления, вызванный фитингами . . . 16
11.7 Вычисление и представление результатов . . . 16
Приложение А (обязательное) Форма протокола испытаний . . . 17
Приложение Б (справочное) Угловой коэффициент коллектора . . . 24
Приложение В (справочное) Характеристики неостекленных солнечных коллекторов . . . 26
Приложение Г (справочное) Свойства воды . . . 28
Библиография . . . 29

ПНСТ 43—2015
(ИСО 9806-3:1995)

П Р Е Д В А Р И Т Е Л Ь Н Ы Й Н А Ц И О Н А Л Ь Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Возобновляемая энергетика

УСТАНОВКИ СОЛНЕЧНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ И ИХ КОМПОНЕНТЫ

Методы испытаний солнечных коллекторов

Часть 3

Тепловые характеристики, включая перепад давления, неостекленных коллекторов с жидким теплоносителем (передача только значимых количеств тепла)

Renewable power engineering. Thermal solar systems and their components.
Test methods for solar collectors. Part 3. Thermal performance of unglazed liquid heating collectors
(sensible heat transfer only) including pressure drop

Срок действия — с 2016—07—01
по 2019—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы определения тепловых характеристик неостекленных коллекторов с жидким теплоносителем. *Описанные в настоящем стандарте испытания являются частью последовательности* испытаний, изложенных в *[1].*

В настоящем стандарте описаны методы проведения испытаний на открытом воздухе под воздействием естественного солнечного излучения и симулируемого ветра и проведения испытаний внутри помещения под воздействием источника искусственного солнечного излучения и ветра.

Настоящий стандарт не применим к коллекторам, в которых аккумулятор тепла конструктивно включен в коллектор так, *что измерения характеристик процесса поглощения и аккумуляции тепла не могут быть проведены отдельно друг от друга.*

Настоящий стандарт не применим к коллекторам, в которых теплоноситель может менять фазу, и к коллекторам, зависимым от конденсации водяных паров из окружающего воздуха.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ГОСТ Р 5159—2000 Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения (ISO 9488:1999, NEQ)

Примечание — *При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.*

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ Р 51594*.

4 Символы и единицы измерения

Символы и единицы измерения, используемые в настоящем стандарте, приведены в приложении А.

5 Установка и размещение коллектора

5.1 Общие положения

Испытуемые коллекторы должны быть установлены в соответствии с 5.2–5.9. Способ установки коллектора должен быть запротоколирован вместе с результатами испытаний.

Следует испытывать коллекторы реальных размеров, так как краевые потери небольших коллекторов могут значительно уменьшить их производительность. Минимальная рекомендуемая полная площадь коллектора составляет 3 м^2.

5.2 Монтажная рама коллектора

Коллектор должен быть укреплен так, как определено изготовителем. Рама коллектора не должна перекрывать апертуру коллектора и не должна значительно влиять на изоляцию тыльной или боковых сторон, если не определено иначе (например, если коллектор является частью крыши). Коллектор должен быть укреплен так, чтобы его нижняя часть находилась не менее чем на 0,5 м выше поверхности земли.

Если инструкциями по монтажу не определен способ размещения коллектора для испытаний, коллектор должен быть смонтирован на теплоизоляционном покрытии с коэффициентом теплопроводности (2 ± 0,5) Вт/(м^2·К), его верхняя поверхность должна быть окрашена в матовый белый цвет, а задняя часть должна хорошо вентилироваться. Коллекторы, предназначенные для монтажа непосредственно на крыше, могут быть установлены для испытаний на модели участка крыши.

Коллектор из труб или полос должен быть собран с наименьшим расстоянием между трубами (или полосами) 10 мм или один диаметр (ширина полосы). Если в инструкции изготовителя по установке указано другое расстояние между трубами или полосами, то следует применять расстояние, рекомендованное изготовителя. Если коллектор поставляется с монтажными прокладками или иными устройствами, фиксирующими расстояние между трубами (или полосами), коллектор должен быть испытан в виде, в котором он поставлен, а его геометрия должна быть указана в протоколе испытаний.

Потоки теплого воздуха, которые поднимаются вверх по стенам здания, не должны проходить через коллектор. В случае установки коллектора на крыше здания, он должен быть установлен не менее чем на расстоянии 2 м от края крыши.

5.3 Размеры модулей испытуемого коллектора

Работа неостекленных солнечных коллекторов некоторых типов зависит от размеров модуля. Если коллектор поставляется модулями площадью от 1 м^2, для испытаний модули следует соединить друг с другом так, чтобы апертура испытуемого коллектора была не менее 3 м^2. Если коллектор поставляется в форме полос, то минимальная площадь составного модуля также должна иметь общую площадь не менее 3 м^2.

5.4 Угол наклона

Коллектор должен быть испытан под углом меньшим 30° по отношению к углу θ падения прямой солнечной радиации или так, чтобы угловой коэффициент был менее чем ± 2 % его значения при вертикальном падении. Перед выбором угла наклона для испытаний необходимо до начала испытаний проверить значение углового коэффициента под двумя различными углами (см. приложение В).

Примечание — Для большинства неостекленных коллекторов влияние угла наклона и угла падения излучения на эффективность коллектора незначительно, и неостекленные коллекторы обычно устанавливают с малым наклоном. Однако необходимо предпринять меры, чтобы при такой установке избежать воздушных пробок. Поглощающие поверхности (ПП), изготовленные из отдельных параллельных трубок, имеют угол падения, который может увеличить общий угол падения.

5.5 Расположение коллектора на открытом воздухе

Коллектор может быть установлен на открытом воздухе лицевой стороной к экватору, но это ограничит диапазон углов падения солнечного излучения (см. 8.6). Более эффективный метод — это установка коллектора с устройством (ручным или автоматическим) слежения за солнцем в азимутальной плоскости.

5.6 Затенение от прямого солнечного излучения

Расположение испытательного стенда должно быть таким, чтобы на коллектор в течение всего испытания не падала тень.

5.7 Рассеянная и отраженная солнечная радиация

5.7.1 Размещение на открытом воздухе

В целях анализа результатов наружных испытаний считается, что солнечная радиация, не поступающая непосредственно от солнечного диска, изотропна в полусфере ориентации коллектора. Чтобы минимизировать ошибки, следующие из этого предположения, коллектор должен быть размещен таким образом, чтобы на него во время испытаний не падали солнечное излучение, отраженное от окружающих зданий или поверхностей, и тень от других предметов. Затенено может быть не более 5 % площади коллектора. Особенно важно избежать перед коллектором зданий или больших преград с углом к горизонту более чем приблизительно 15°. Отражательная способность большинства грубых поверхностей типа травы, подвергшихся атмосферному влиянию бетона или щебенки, обычно достаточно низка, что не создает препятствий при испытаниях коллекторов. Следует избегать мест, в которых перед коллектором расположены большие поверхности стекла, металла или воды.

5.7.2 Источник искусственного солнечного излучения

В большинстве источников искусственного солнечного излучения прямую солнечную радиацию можно получить только приблизительно. Чтобы упростить измерение искусственной радиации, необходимо минимизировать отраженное излучение. Это может быть достигнуто за счет покраски всех поверхностей в испытательной камере в темный цвет (низкая отражательная способность).

5.8 Длинноволновое излучение

5.8.1 Размещение на открытом воздухе

Чтобы минимизировать влияние длинноволнового излучения, температура поверхностей, смежных с коллектором, должна быть как можно ближе к температуре окружающего воздуха. Например, в поле зрение коллектора не должно быть дымоходов, градирен или источников горячих выхлопных газов.

5.8.2 Источник искусственного солнечного излучения

Для внутренних и модельных испытаний коллектор должен быть огражден от горячих поверхностей типа радиаторов, каналов и машин кондиционирования воздуха и от холодных поверхностей типа окон и внешних стен. Экранирование важно и спереди, и сзади коллектора. Основное различие между внутренними и наружными испытаниями неостекленных коллекторов — длина волны теплового излучения. При испытаниях с источником искусственного солнечного излучения соответствующая радиация не должна быть выше значений, указанных в 9.2.

5.9 Скорость воздушного потока

Неостекленные коллекторы чувствительны к скорости воздушного потока, окружающего коллектор.

Чтобы повысить точность результатов, неостекленные коллекторы должны быть закреплены таким образом, чтобы воздух мог свободно обтекать переднюю и незащищенную заднюю части коллектора. Коллекторы, встраиваемые в крышу, имеют закрытые от воздуха задние части.

Средняя скорость воздушного потока, параллельного апертуре коллектора, на расстоянии 100 мм должна изменяться от 1,5 до 4 м/с при выполнении условий, приведенных в таблице 2 (см. 8.6). Если используется вентилятор, уровень турбулентности для моделирования естественного состояния ветра должен изменяться в диапазоне от 20 % до 40 %. Уровень турбулентности измеряется у переднего края коллектора на расстоянии 100 мм над его поверхностью. Уровень турбулентности измеряется с помощью линеаризованного термоанемометра с частотной характеристикой не менее 100 Гц. Если ПП не будет укреплена непосредственно на крыше, то скорость воздушного потока будет проверяться на передней и задней частях ПП.

6 Оборудование

6.1 Измерение солнечного излучения

6.1.1 Пиранометр

Для измерения суммарной коротковолновой радиации солнца и неба используют пиранометры класса I или лучше (в соответствии с *[2]*). Должны соблюдаться практические рекомендации по их использованию.

6.1.2 Меры предосторожности против воздействия градиента температуры

Пиранометр, используемый в ходе испытаний, для стабилизации измерений должен быть установлен на испытательном стенде по крайней мере за 30 мин до начала получения данных.

6.1.3 Меры предосторожности против влияния влаги и сырости

Пиранометр должен быть снабжен средствами предотвращения накопления влаги, которая может конденсироваться на поверхностях, где снимают показания измерительного прибора. Предпочтительны измерительные приборы с диссикатором (сушильным устройством), который может быть осмотрен при необходимости. Состояние диссикатора необходимо контролировать регулярно.

6.1.4 Меры предосторожности против влияния инфракрасного излучения на точность пиранометра

Пиранометр, используемый для измерения излучения солнечной радиации искусственного источника, должен быть укреплен таким способом, чтобы минимизировать влияние на его показания инфракрасной радиации с длиной волны выше 3 мкм от моделируемого источника света.

6.1.5 Установка пиранометра

Пиранометр должен быть укреплен таким образом, чтобы его датчик находился в одной плоскости (в пределах допуска ± 1°) с плоскостью апертуры коллектора. Он не должен бросать тень на апертуру коллектора в любое время в течение испытаний. Пиранометр должен быть укреплен таким образом, чтобы получить то же количество прямого, рассеянного и отраженного излучения, как коллектор.

Для наружного испытания пиранометр должен быть укреплен на половине высоты коллектора. Корпус пиранометра и выходящие электропровода должны быть экранированы, чтобы минимизировать нагрев электропроводов под солнцем. Также необходимо минимизировать энергию, отраженную и повторно излученную от солнечного коллектора на пиранометр.

Для испытаний внутри помещения пиранометры могут быть использованы для измерения распределения искусственного солнечного излучения по апертуре коллектора с использованием сетки с максимальным шагом в 150 мм. Пиранометр должен быть установлен и защищен так же, как и для испытаний на открытом воздухе. Могут также быть использованы другие типы радиационного детектора при условии, что они были откалиброваны для рассматриваемого искусственного солнечного излучения.

6.1.6 Калибровочный интервал пиранометра

Пиранометр должен быть откалиброван для измерения солнечной радиации в течение 12 мес перед проведением испытаний коллектора. Любое изменение более чем ± 1 % в течение года требует проведения более тщательной калибровки или замены прибора. Если прибор поврежден в значительной степени, то он должен быть откалиброван заново или заменен.

6.2 Измерение длинноволнового излучения

6.2.1 Пиргеометр

Измерение суммарного длинноволнового излучения проводят пиргеометром, укрепленным в плоскости коллектора.

6.2.2 Меры предосторожности против воздействия градиента температуры

Пиргеометр, используемый в течение испытаний, должен быть размещен в плоскости ПП коллектора по крайней мере за 30 мин до начала измерений.

6.2.3 Меры предосторожности против влияния влаги и сырости

Пиргеометр должен быть снабжен средствами предотвращения накопления влаги, которая может конденсироваться на поверхностях, где снимают показания измерительного прибора. Предпочтительны измерительные приборы с диссикатором (сушильным устройством), которое может быть осмотрено при необходимости. Состояние диссикатора необходимо контролировать регулярно.

6.2.4 Меры предосторожности против влияния солнечного нагрева

Колпак пиргеометра, используемого для измерения длинноволнового излучения, должен хорошо вентилироваться, чтобы минимизировать влияние солнечного нагрева.

6.2.5 Калибровочный интервал пиргеометра

Пиргеометр должен быть откалиброван для измерения в течение 12 мес перед проведением испытаний коллектора. Любое изменение более чем ± 5 % в течение года требует проведения более

тщательной калибровки или замены прибора. Если прибор поврежден в значительной степени, то он должен быть откалиброван заново или заменен.

6.3 Измерение температуры

При испытании солнечного коллектора необходимо проводить измерения температуры в трех точках: температуры жидкости на входе коллектора, температуры жидкости на выходе коллектора и температуры окружающей среды. Точность измерения температуры жидкости и окружающего воздуха различны. Поэтому необходимо применять различные датчики для измерения температуры и связанное с ними оборудование.

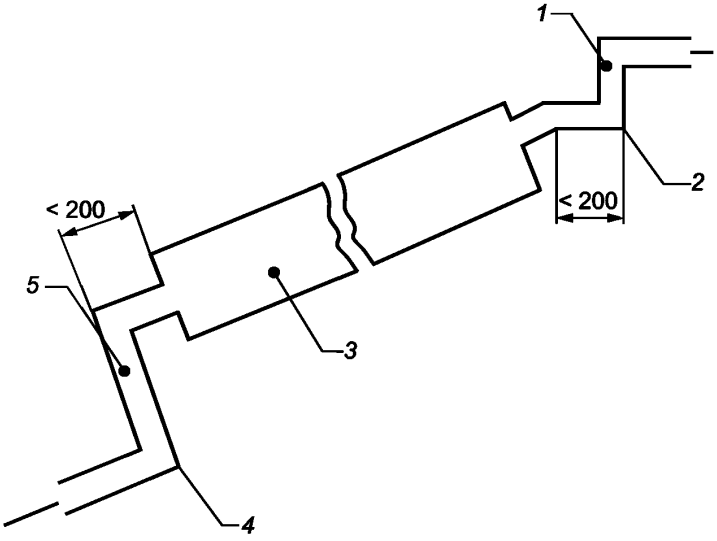
6.3.1 Измерение температуры теплоносителя на входе в коллектор t_{in}

6.3.1.1 Необходимая точность

Температура жидкого теплоносителя на входе в коллектор t_{in} должна быть измерена со стандартной погрешностью 0,1 K. Но для проверки колебаний температуры со временем требуется улучшенное разрешение сигнала датчика температуры порядка ± 0,02 K.

6.3.1.2 Монтаж датчиков

Датчик для измерения температуры должен быть укреплен не далее чем в 200 мм от входа коллектора и теплоизолирован. Если необходимо поместить датчик на расстоянии более 200 мм от коллектора, то следует убедиться, что на измерение температуры жидкости не оказывается постороннее воздействие. Для перемешивания жидкости при измерении температуры в трубопроводе должен быть сделан изгиб против потока жидкости, зонд датчика должен быть установлен против потока жидкости в той части трубопровода, где поток поднимается (чтобы предотвратить застой воздуха вблизи датчика), как показано на рисунке 1.



1 — датчик температуры (t_eΔT) на выходе коллектора; *2* — отвод трубопровода или устройства перемешивания; *3* — солнечный коллектор; *4* — отвод трубопровода или устройства перемешивания; *5* — датчик температуры (t_{in}ΔT) на входе коллектора

Рисунок 1 — Рекомендованные положения датчиков для измерения температуры жидкого теплоносителя на входе и выходе

6.3.2 Определение разности температур теплоносителя Δ*T*

6.3.2.1 Необходимая точность

Разность температур на входе и выходе Δ*T* должна быть определена со стандартной погрешностью < 0,1 K. Стандартные погрешности, приближающиеся к ± 0,02 K, могут быть достигнуты с помощью использования современных хорошо откалиброванных датчиков, которые позволяют измерить разность температур жидкого теплоносителя 1 K с приемлемой точностью. Однако для минимизации ошибки следует избегать разности температур менее 2 K.

6.3.3 Измерение температуры окружающего воздуха t_a

6.3.3.1 Требуемая точность

Температура окружающего воздуха t_a должна быть измерена со стандартной погрешностью ± 0,1 °C. Температура точки росы t_{dp} должна быть определена с точностью ± 0,5 °C.

6.3.3.2 Монтаж датчиков

Датчик измерения температуры окружающего воздуха должен быть установлен на выходе вентилятора. Датчик должен быть экранирован от прямого и отраженного солнечного излучения. Должен быть использован дополнительный сенсор для измерения температуры окружающего воздуха позади коллектора, для того чтобы гарантировать равномерность температуры воздуха вокруг коллектора и определить ее среднее значение.

Температура воздуха на выходе вентилятора не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на ± 1 °С.

6.4 Измерение расхода жидкости в коллекторе

Массовый расход жидкости может быть измерен непосредственно или может быть определен на основе измерения объемного расхода и температуры. Стандартная погрешность измерения расхода жидкости в коллекторе должна быть в пределах ± 1 % от значения измеряемой величины по массе в единицу времени. Расходомер должен быть откалиброван в диапазоне расходов и температур жидкости, которые заданы для испытания коллектора.

Примечание — Температура жидкости в объемных расходомерах должна быть известна с достаточной точностью, чтобы определить массовый расход в пределах точности, заданной изготовителем.

Направление потока жидкости через расходомер должно быть горизонтальным или по восходящему направлению, чтобы избежать накопления воздуха.

6.5 Измерение скорости воздушного потока

Тепловые потери коллектора увеличиваются с увеличением скорости воздушного потока через коллектор. Контролируя скорость воздушного потока от вентилятора, как указано в 5.9, можно четко определить условия, при которых выполняется испытание.

6.5.1 Требуемая точность

Скорость окружающего потока воздуха на лицевой поверхности коллектора следует измерять со стандартной погрешностью ± 10 %.

При наружных испытаниях скорость окружающего воздушного потока редко постоянна, ветер может быть порывистым. *Поэтому скорости воздушного потока усредняют за период испытаний (применяют среднеарифметическое или среднеинтегральное усреднение).*

6.5.2 Монтаж датчиков

При внутренних испытаниях скорость воздушного потока на разных частях коллектора может быть различной. Серия измерений скорости воздушного потока должна быть выполнена на расстоянии 100 мм от апертуры коллектора. Измерения должны быть проведены в девяти точках, равноотстоящих друг от друга по площади коллектора, и усреднены. Для коллектора, который не имеет изоляции задней части или не укреплен на поверхности крыши, скорость воздушного потока должна быть измерена по передней и задней поверхностям. Средняя скорость воздушного потока на передней и задней поверхностях должна коррелироваться.

В ходе испытаний скорость воздушного потока должна быть проверена в точке, которая была откалибрована относительно средней скорости воздушного потока по коллектору. Анемометр не должен отбрасывать тень на коллектор в течение испытаний.

6.6 Измерение давления

Давление на входе в коллектор и перепад давления поперек коллектора должны быть измерены устройством, имеющим точность ± 3,5 кПа. Если коллектор поставляется в модулях, то перепад давления должен быть определен для модуля. Для ПП, поставляемых полосами, давление должно быть определено на погонный метр полосы.

6.7 Время испытаний

Фактическое время испытания должно быть измерено со стандартной погрешностью ± 0,2 %.

6.8 Оборудование/регистратор данных

Наименьшее деление шкалы инструментов и измерительных приборов не должно быть более удвоенной величины указанной стандартной погрешности измерения. Например, если указанная стандартная погрешность ± 0,1 °С, то наименьшее деление шкалы не должно превышать ± 0,2 °С.

Аналоговый и цифровой регистраторы должны иметь ошибку, равную или меньшую чем 0,5 % от полной шкалы прибора, и иметь постоянную времени 1 с или меньше. Максимальное значение измеряемого показателя должно находиться между 50 % и 100 % полной шкалы прибора.

Цифровая техника и электронные интеграторы должны иметь стандартную погрешность, равную или меньшую чем 1,0 % от измеряемой величины.

Полное входное сопротивление регистраторов должно превышать сопротивление датчика в 1000 раз или быть равным или выше 10 МОм.

Интервал выборки должен быть больше 30 с.

6.9 Площадь коллектора

Площадь коллектора (общая или ПП) измеряют со стандартной погрешностью ± 0,1 %.

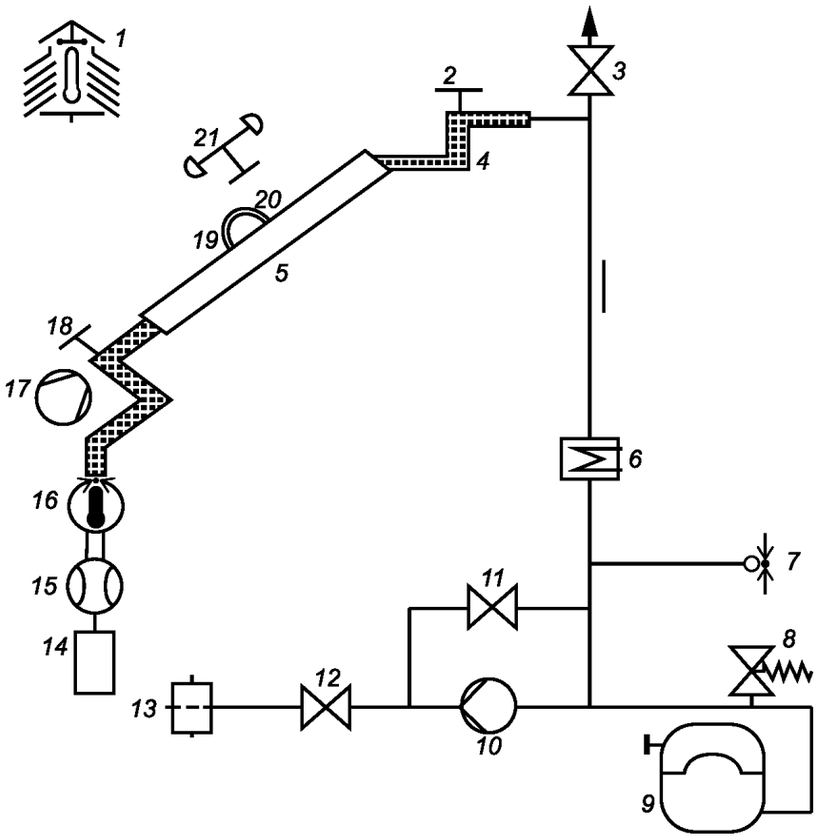
6.10 Объем жидкого теплоносителя коллектора

Объем теплоносителя коллектора, выраженного как эквивалентная масса жидкого теплоносителя, используемого для испытания, должен быть измерен со стандартной погрешностью не больше ± 10 %. Измерения могут быть выполнены взвешиванием коллектора (пустого и наполненного жидкостью).

7 Испытательная установка

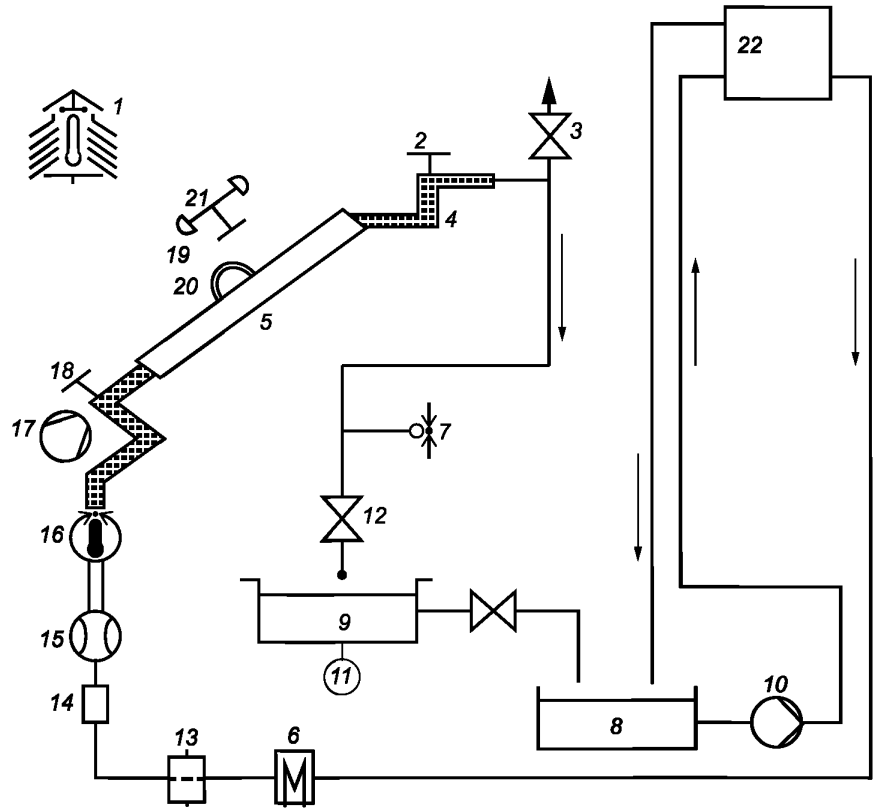
7.1 Общие положения

Примеры схем стендов для испытаний жидкостных солнечных коллекторов приведены на рисунках 2 и 3.



1 — датчик температуры окружающего воздуха; *2* — датчик температуры окружающей среды (t_e); *3* — вентиляционное отверстие; *4* — труба с двойными стенками; *5* — солнечный коллектор; *6* — нагреватель/охладитель для первичного регулирования температуры; *7* — манометр; *8* — предохранительный клапан; *9* — расширительный бак; *10* — насос; *11* — перепускной клапан; *12* — клапан — регулятор потока; *13* — фильтр (200 мкм); *14* — смотровое стекло; *15* — расходомер; *16* — вторичный регулятор температуры; *17* — вентилятор; *18* — датчик температуры жидкости на входе в коллектор (t_{in}); *19* — пиргеометр; *20* — пиранометр; *21* — анемометр

Рисунок 2 — Пример замкнутого испытательного контура



1 — датчик температуры окружающего воздуха; *2* — датчик температуры окружающей среды (t_e);
3 — вентиляционное отверстие; *4* — труба с двойными стенками; *5* — солнечный коллектор;
6 — нагреватель/охладитель для первичного регулирования температуры; *7* — манометр; *8* — резервуар;
9 — взвешивающий бак; *10* — насос; *11* — весы; *12* — клапан-регулятор потока; *13* — фильтр (200 мкм);
14 — смотровое стекло; *15* — расходомер; *16* — вторичный регулятор температуры; *17* — вентилятор;
18 — датчик температуры жидкости на входе в коллектор (t_{in}); *19* — пиргеометр; *20* — пиранометр;
21 — анемометр; *22* — бак постоянного уровня

Рисунок 3 — Пример открытого (разомкнутого) испытательного контура

7.2 Жидкость теплоносителя

Жидкость теплоносителя, используемая для испытания коллектора, может быть водой или иной жидкостью, рекомендованной изготовителем. Удельная теплоемкость и плотность жидкости должны быть известны с точностью до ± 1 % во всем диапазоне изменения температуры жидкости во время испытаний. Эти значения для воды приведены в приложении Г.

Массовый расход жидкости теплоносителя должен быть постоянным в течение всех испытаний, проводимых для определения кривой теплового КПД, постоянной времени и углового коэффициента для данного коллектора.

7.3 Трубопровод и водопроводная арматура

Трубопровод, используемый в контуре коллектора, должен быть стойким к коррозии. Если используются неводные жидкости, то должна быть подтверждена их совместимость с материалами системы. Участки труб следует изготовлять максимально короткими. В частности, участок трубы между выходом регулятора температуры жидкости и входом коллектора должен быть минимизирован для уменьшения воздействия окружающей среды на входную температуру жидкости. Этот участок трубопровода должен быть изолирован для обеспечения величины тепловых потерь не более 0,2 Вт/К и должен быть защищен отражающим погодостойким покрытием. Трубопровод между термочувствительным датчиком и коллектором (входное и выходное отверстия) должен быть изолирован и покрыт отражающим (для наружных измерений также защищенным от непогоды) покрытием до мест установки температурных датчиков так, чтобы во время испытаний увеличение или уменьшение температуры в любом участке

трубопровода не превышало 0,01 К. Конструкции для перемешивания потока, такие как изгиб трубопровода, должны быть установлены непосредственно перед температурными датчиками (см. 6.3).

Должен быть установлен короткий отрезок прозрачной трубки в контуре циркуляции жидкости так, чтобы можно было обнаружить воздушные пузыри и любые другие загрязняющие примеси, если они присутствуют. Прозрачная трубка должна быть помещена близко к входному отверстию коллектора, но не должна влиять на регулирование температуры жидкости на входе или на температурные измерения. Для этой цели весьма удобны расходомеры переменного сечения, так как позволяют наблюдать течение жидкости.

Воздушный сепаратор и вентиляционное отверстие должны быть помещены в выходное отверстие коллектора и в другие точки в системе, где может скапливаться воздух.

Фильтры должны быть размещены в непосредственной близости от измерительных приборов и насоса в соответствии с существующей практикой (фильтра с номинальным размером 200 мкм обычно достаточно).

7.4 Насос и устройства управления расходом жидкости

Гидравлический насос должен быть расположен в испытательном контуре коллектора в таком месте, чтобы тепло, передаваемое им жидкости, не влияло бы ни на температуру на входе коллектора, ни на температуру жидкости внутри коллектора.

Насосы с простым байпасным контуром и игольчатым клапаном с ручным управлением обеспечивают удовлетворительное управление расходом жидкости. При необходимости можно добавить дополнительные устройства регулирования потока, чтобы стабилизировать массовый расход.

Насос и регулятор расхода жидкости должны быть способны поддерживать в пределах рабочего диапазона постоянный (в пределах ± 1 %) массовый и объемный расход жидкости в коллекторе при любой температуре на входе в коллектор.

7.5 Регулирование температуры жидкости теплоносителя

Испытательный контур коллектора должен поддерживать постоянную температуру на входе коллектора при любой температуре в пределах рабочего диапазона. Так как накопление энергии в коллекторе определяется измерением мгновенных значений входной и выходной температур жидкости, даже небольшие изменения входной температуры могут привести к ошибкам в определении накопленной энергии. Очень важно избегать любых колебаний температуры на входе в коллектор. Допустимые колебания составляют менее 0,1 К за время испытания.

Испытательные контуры могут состоять из двух ступеней регулирования входной температуры жидкости, как показано на рисунках 2 и 3. Первичный регулятор температуры размещают перед входом расходомера и регулятора потока. Вторичный регулятор температуры используют для коррекции температуры жидкости непосредственно перед входом в коллектор. Этот вторичный регулятор обычно регулирует температуру жидкости не более чем ± 2 К.

8 Испытание на производительность в установившемся режиме на открытом воздухе

8.1 Испытательная установка

Коллектор должен быть установлен в соответствии требованиям раздела 5 и соединен с испытательным контуром в соответствии требованиям раздела 7. Жидкость теплоносителя должна течь от основания до вершины коллектора или в соответствии с рекомендациям изготовителя.

8.2 Предварительная подготовка коллектора

Коллектор должен быть осмотрен и любое повреждение должно быть зарегистрировано. Поверхность ПП коллектора должна быть полностью очищена.

Трубопровод коллектора должен вентилироваться воздухом через воздушный клапан или жидкостью с большим расходом и высокой температурой, если необходимо.

Наличие в жидкости воздуха или частиц контролируется посредством прозрачной трубки, встроенной в трубопроводный контур. Любые загрязнители должны быть удалены.

8.3 Условия проведения испытаний

Во время испытаний полезное солнечное излучение G'' на плоскости ПП коллектора должно быть больше 650 Вт/м^2.

Угол падения прямого солнечного излучения на апертуру коллектора должен находиться в диапазоне, в котором угловой коэффициент для коллектора изменяется не более чем на ± 2 % от значения при вертикальном падении. Угловой коэффициент рассчитывают таким образом, чтобы можно было оценить производительность коллектора под другими углами падения (см. приложение Б).

Если не определено иначе, расход жидкости должен быть приблизительно равен 0,04 кг/с на квадратный метр площади коллектора. Он поддерживается в пределах ± 1 % от установленного значения в течение каждого периода испытаний и не должен изменяться больше чем на 10 % от установленного значения в разные периоды испытаний.

Измерения изменений температуры жидкости меньше чем на 1 К не включаются в протокол испытаний из-за недостаточной точности прибора.

8.4 Методика испытаний

Для определения производительности коллектор должен быть испытан в рабочем диапазоне изменения температуры в условиях чистого неба. Если коллектор испытывают при входной температуре меньшей, чем температура окружающего воздуха, то поверхность ПП должна наблюдаться в течение всего испытания, чтобы быть уверенным в отсутствии появившегося конденсата на ПП.

Тепловая характеристика коллектора должна быть рассчитана для ряда условий, указанных в таблице 1.

Для каждого рабочего условия должно быть проведено не менее четырех независимых измерений, чтобы минимальное число измеренных точек было равно 32. Если используют фиксированную установку коллектора, то должно быть получено равное количество точек данных до и после полудня для каждого рабочего условия.

В течение испытания должны быть зарегистрированы измерения, указанные в 8.5. В этом случае можно определить такие периоды испытаний, в которых получены удовлетворительные измерения.

Таблица 1 — Минимальный ряд условий испытаний тепловой характеристики

Контрольная точка	Полезная радиация, Вт/м^2	Скорость движения воздуха, м/с	$(T_{in} - T_a)/G''$, м^2 · К/Вт	КПД
1	> 650	2–3	< 0,002	η_0
2	> 650	2–3		$0,8\eta_0 — 0,6\eta_0$
3	> 650	2–3		$0,6\eta_0 — 0,4\eta_0$
4	> 650	2–3		$< 0,4\eta_0$
5	> 650	< 1,5	< 0,002	
6	> 650	< 1,5		$< 0,5\eta_0$
7	> 650	3–4	< 0,002	
8	> 650	3–4		$< 0,5\eta_0$

8.5 Измерения

Должны быть измерены следующие данные:

- общая площадь коллектора A_G, площадь ПП коллектора A_A;
- объем жидкости m;
- солнечное излучение на плоскость коллектора G;
- тепловая длинноволновая радиация на поверхности коллектора E_L (или температура точки росы t_{dp});
- скорость движения окружающего воздуха u;
- температура окружающего воздуха t_a;
- температура жидкости теплоносителя на входе коллектора t_{in};
- температура жидкости теплоносителя на выходе коллектора t_e.

8.6 Продолжительность испытаний

Продолжительность измерения одной точки установившегося режима должна включать период предварительной стабилизации не меньше 15 мин, с заданной температурой жидкости на входе и массовым расходом и период измерений установившегося режима не менее 15 мин.

Во всех случаях длительность периода измерения установившегося режима должна быть больше чем четырехкратное отношение эффективной теплоемкости C коллектора к теплотворному расходу жидкости mc_f через коллектор (см. раздел 10).

Считается, что во время измерения коллектор работал в установившихся условиях, если ни один из экспериментальных параметров не отклонялся от среднего значения за весь период измерений больше чем на приведенные в таблице 2 значения. Состояние можно считать установившимся, если средние значения каждого параметра, измеренные в последовательные периоды времени продолжительностью 30 с, сравнимы со средним значением параметра за время измерения.

Таблица 2 — Разрешенное отклонение измеренных параметров в течение периода измерения

Параметр	Обозначение	Отклонение от среднего значения
Суммарное коротковолновое солнечное излучение	G	± 50 Вт/м^2
Длинноволновое солнечное излучение	E_L	± 20 Вт/м^2
Температура окружающего воздуха	t_a	± 1 K
Температура точки росы	t_{dp}	± 1 K
Массовый расход жидкого теплоносителя	m	± 1 %
Температура на входе коллектора	t_{in}	± 0,1 K
Скорость воздушного потока	u	± 10 %

8.7 Представление результатов

Измерения должны быть сопоставлены для выделения группы данных, удовлетворяющих требуемым условиям, включая установившийся режим работы. Измерения должны быть запротоколированы в формате, приведенном в приложении А.

8.8 Вычисление производительности коллектора

КПД η коллектора по результатам испытаний вычисляют по следующей формуле:

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A_p G''}, \tag{1}$$

где A_p — полная площадь коллектора или площадь ПП;

G'' — полезная радиация, определенная по формуле

$$G'' = G + \frac{\varepsilon}{\alpha}\left(E_L - \sigma T_a^4\right), \tag{2}$$

где E_L — измеренная длина волны солнечного излучения в плоскости коллектора. Значение ε/α должно быть принято равным 1, пока изготовитель не предоставит измеренное значение;

$\dot{Q}$ — полезная выходная мощность, определенная по формуле

$$\dot{Q} = \dot{m} c_f \left(t_e - t_{in}\right). \tag{3}$$

При обеспечении того, что угол падения θ менее, чем 30°, использование углового коэффициента, как описано в приложении Б, не требуется.

Следует использовать значение c_f (удельная теплоемкость теплоносителя), соответствующее средней температуре жидкости.

Если массовый расход жидкого теплоносителя m получен объемными измерениями расхода, то плотность жидкости должна быть определена по температуре в расходомере.

Данные испытаний должны быть аппроксимированы методом наименьших квадратов, чтобы получить зависимость КПД в следующем виде:

$$\eta = \eta_0 - \left(b_1 + b_2 u\right)\frac{t_{in} - t_a}{G''}, \tag{4}$$

где η_0, b_1, b_2 — коэффициенты, которые определяются при аппроксимации.

8.9 Вычисление длинноволнового излучения на открытом воздухе

Если для измерения длинноволнового излучения E_L отсутствуют необходимые устройства, то может быть использована следующая модель определения длины волны солнечного излучения из измеренной атмосферной температуры точки росы t_{dp}:

$$\varepsilon_s = 0,711 + 0,56\frac{t_{dp}}{100} + 0,73\left(\frac{t_{dp}}{100}\right)^2, \quad (5)$$

где атмосферная температура точки росы t_{dp} измерена с точностью, указанной в 6.3.3.1.

Длина волны солнечного излучения на горизонтальную поверхность вычисляют по формуле

$$E_s = \varepsilon_s \sigma T_a^4. \quad (6)$$

Если коллектор наклонен, то он будет обмениваться теплом с небом и землей.

Длину волны излучения E_β на коллекторе, наклоненном под углом β, вычисляют по формуле

$$E_\beta = \varepsilon_s \sigma T_a^4 \frac{1+\cos\beta}{2} + \varepsilon_g \sigma T_g^4 \frac{1-\cos\beta}{2}. \quad (7)$$

Температура земли будет иметь небольшое влияние на длинноволновое излучение, падающее на коллектор с углом наклона менее 45°, так как коэффициент формы излучения между коллектором и землей составляет 0,15 при β = 45°.

В этом случае формула (7) может быть записана как

$$E_\beta = \varepsilon_s \sigma T_a^4 \frac{1+\cos\beta}{2}. \quad (8)$$

Таким образом, в формуле (2) длина волны солнечного излучения E_L в плоскости коллектора равна E_β, когда коллектор расположен на открытом воздухе.

9 Испытание на определение КПД в установившемся режиме с искусственным источником излучения

9.1 Общие положения

Работа большинства коллекторов лучше при прямом солнечном излучении, чем при рассеянном, и в настоящее время есть небольшой опыт работы коллекторов с искусственным источником рассеянного солнечного излучения. Поэтому этот метод испытаний разработан для использования только при искусственных источниках излучения, где луч искусственного солнечного излучения может быть направлен почти нормально к коллектору.

Так как на практике трудно получить однородный луч искусственного солнечного излучения, должен быть измерен средний уровень радиации по апертуре коллектора.

9.2 Искусственный источник излучения для испытания на определение КПД в установившемся режиме

Искусственный источник излучения для испытания на определение КПД в установившемся режиме должен иметь следующие характеристики:

- лампы должны создавать среднее излучение по апертуре коллектора не менее 650 Вт/м^2;
- среднее значение излучения по апертуре коллектора не должно меняться более чем на ± 50 Вт/м^2 в течение испытания. В любое время излучение в любой точке апертуры коллектора не должно отличаться от среднего излучения по апертуре больше чем на ± 15 %;
- спектральное распределение искусственного солнечного излучения должно быть эквивалентно солнечному спектру при оптической массе воздуха 1,5 (см. *[3]*, *[4]*).

Для ламп определенных типов, например для металлогалогеновых ламп, рекомендуется выполнять определение начального спектра после того, как лампы прошли отбраковочные испытания.

Длинноволновое излучение на коллекторе не должно превышать излучение абсолютно черного тела при температуре окружающей среды более чем на 50 Вт/м^2. Данное условие может потребовать специальных мер предосторожности в некоторых симуляторах солнечного излучения.

9.3 Испытательная установка

При монтаже и выборе места установки коллектора необходимо следовать требованиям раздела 5.

Угол наклона коллектора должен быть таким, чтобы получить почти нормальное падение луча искусственного солнечного излучения. Угол наклона должен быть равен или быть в пределах 30° или таким, как рекомендовано изготовителем.

С искусственным солнечным источником должен использоваться вентилятор, чтобы произвести поток воздуха в соответствии с 5.9.

Коллимация искусственного источника должна быть такой, чтобы углы падения не менее 80 % радиации искусственного источника лежали бы в диапазоне, в котором угловой коэффициент коллектора изменяется не более чем на ± 2 % от его значения при нормальном падении. Для типовых плоских коллекторов это условие обычно удовлетворяется, если по крайней мере 80 % излучения искусственного источника в любой точке коллектора будет исходить из искусственного источника солнечного излучения, содержащегося внутри предполагаемого угла в 60° или менее, если смотреть с любой точки.

Излучение должно контролироваться в течение испытания и не должно изменяться более чем на 3 %. Метод, используемый для измерения радиации в течение испытания, должен выдавать значения средней радиации, которые согласуются с теми значениями, которые определены пространственной интеграцией в пределах ± 1 %.

9.4 Предварительная подготовка коллектора

Необходимо следовать методике, описанной в 8.2.

9.5 Условия испытания

Условия испытания, описанные в 8.3 для испытаний на открытом воздухе, должны быть соблюдены со следующими дополнениями: длинноволновое излучение на плоскости апертуры коллектора не должно выходить за пределы, указанные в 9.2.

9.6 Длительность испытания

Длительность испытания определяют таким же образом, как при проведении испытания на открытом воздухе для установившегося режима.

В закрытом помещении установившийся режим для испытаний обеспечивается легче, чем на открытом воздухе, но для стабилизации режима испытуемого коллектора все же требуется достаточное время (см. 8.6.)

9.7 Методика испытаний

Коллектор должен быть испытан в диапазоне значений рабочей температуры приблизительно таким же способом, как при и испытании на открытом воздухе (см. 8.4).

В течение испытания измерения должны быть выполнены, как определено в 9.8. В дальнейшем это может быть использовано для определения периодов испытаний, в которых были получены удовлетворительные точки данных

9.8 Измерения при испытаниях с искусственными источниками излучения

Измерения должны быть выполнены, как указано в 8.5.

9.8.1 Измерение солнечной радиации источника искусственного солнечного излучения

Рекомендуется использовать пиранометры для измерения радиации источника искусственного солнечного излучения в соответствии с 6.1. Также могут быть использованы детекторы излучения других типов, если они откалиброваны для источника искусственного солнечного излучения. Подробное описание оборудования и методов, используемых для их калибровки, должны сообщаться с результатами проверки.

Распределение излучения по апертуре коллектора должно быть измерено с использованием сетки с максимальным шагом в 150 мм и пространственной средней величины, выведенной простым усреднением.

Примечание — Солнечная радиация источника искусственного солнечного излучения обычно изменяется по апертуре коллектора, а также в течение испытания. Поэтому необходимо использовать методику для объединения радиации по апертуре коллектора. Изменения излучения во времени обычно вызываются колебаниями электроснабжения и колебанием мощности лампы в зависимости от температуры и времени эксплуатации. Некоторым лампам требуется более 30 мин, чтобы достигнуть устойчивого рабочего состояния.

9.8.2 Измерение длинноволновой радиации в источнике искусственного солнечного излучения

Длинноволновая радиация в источнике искусственного солнечного излучения, вероятно, будет выше, чем та, которая обычно встречается на открытом воздухе. Поэтому она должна быть измерена, чтобы гарантировать, что длинноволновая радиация не превышает предельных значений, приведенных в 9.2.

Среднюю длинноволновую радиацию источника проверяют ежегодно и каждый раз, когда были произведены изменения, которые могли повлиять на ее величину. Сведения о величине средней длинноволновой радиации и дате, когда она была последний раз измерена, должны включаться в протокол испытаний коллектора.

9.8.3 Температура воздуха, окружающего источник искусственного солнечного излучения

Особое внимание должно быть уделено температуре воздуха t_a, окружающего источник искусственного солнечного излучения. Требуется как минимум среднее значение двух измеренных величин. Датчики должны быть экранированы, чтобы минимизировать тепловой обмен. Температура воздуха на выходе вентилятора будет использоваться для расчетов работы коллектора.

9.9 Обработка и представление результатов

Результаты, аналогичные приведенным в 8.8 для наружного испытания, должны быть представлены в форме прокола испытаний (см. приложение А).

10 Определение эффективной теплоемкости и постоянной времени коллектора

10.1 Общие положения

Эффективная теплоемкость и постоянная времени коллектора являются важными параметрами, которые определяют его характеристику в переходном процессе.

Обычно коллектор рассматривается как сумма масс при различной температуре. Когда коллектор работает, каждая составляющая коллектора по-разному реагирует на изменение его состояния, таким образом полезно рассмотреть эффективную теплоемкость для коллектора в целом.

Эффективная теплоемкость зависит от режима работы коллектора и не имеет одного значения. Различные способы измерения или вычисления эффективной теплоемкости коллекторов показали, что похожие результаты могут быть получены при использовании различных методов. Метод, описанный далее, рекомендуется потому, что он является простым.

У коллекторов отсутствует не только одно значение эффективной теплоемкости, но и одной постоянной времени. Для большинства коллекторов наибольшее влияние на время прохождения жидкости оказывает расход жидкости. Другие составляющие коллектора имеют иные значения времени, влияющие на эффективную постоянную времени, которая зависит от режима.

10.2 Определение эффективной теплоемкости коллектора

Эффективную теплоемкость коллектора C, Дж/К, вычисляют как сумму теплоемкости всех компонентов коллектора (стекло, ПП, жидкость теплоносителя, изоляция), являющейся произведением их массы m_i, кг, и теплоемкости c_i, Дж/кг·К

$$C = \sum_i m_i c_i. \qquad (9)$$

10.3 Методика испытаний постоянной времени коллектора

Испытание должно быть выполнено на открытом воздухе при чистом небе или с искусственным источником солнечной радиации. В обоих случаях полезное солнечное излучение G" на плоскости апертуры коллектора должно быть более чем 650 Вт/м^2.

Жидкость теплоносителя должна проходить через коллектор с той же скоростью, как при испытаниях на тепловой КПД коллектора.

Апертура коллектора должна быть ограждена от солнечной радиации посредством солнцеотражающего покрытия, и температура жидкости теплоносителя во входном отверстии коллектора должна быть приблизительно равна температуре окружающего воздуха.

При достижении установившегося режима покрытие должно быть удалено и измерения продолжены до достижения нового установившегося режима. Предполагается, что установившийся режим наступил, когда выходная температура жидкости изменяется менее чем на 0,05 К в минуту.

Следующие величины должны быть измерены в соответствии с разделом 6:
- температура на входе коллектора t_{in};
- температура на выходе коллектора t_e;
- температура окружающего воздуха t_a.

10.4 Расчет постоянной времени коллектора

Разность между температурой на выходе коллектора и температурой окружающей среды $(t_e - t_a)$ должна быть определена в течение промежутка времени с момента начального установившегося состояния $(t_e - t_a)_0$ до второго установившегося состояния $(t_e - t_a)_2$.

Постоянную времени τ_c коллектора определяют как общее затраченное время между моментом снятия покрытия и моментом, когда температура на выходе коллектора повысится на 63,2 % от итогового увеличения температуры в интервале от $(t_e - t_a)_0$ до $(t_e - t_a)_2$. Если время реакции температурных датчиков существенно по сравнению с постоянной времени коллектора, его следует учитывать при вычислении результатов испытаний.

11 Определение перепада давления в поперечном сечении коллектора

11.1 Общие положения

Перепад давления в поперечном сечении коллектора может быть важным для проектировщиков систем солнечных коллекторов.

Для испытания должна быть использована жидкость, обычно применяемая в коллекторе.

Для того чтобы определить типовой диапазон перепадов давления, необходимо использовать различные значения расхода жидкости.

11.2 Испытательная установка

Коллектор должен быть установлен в соответствии с разделом 5 и соединен с испытательным контуром, в соответствии с разделом 7, с оборудованием, которое требуется для испытания. Жидкость теплоносителя должна циркулировать от основания до вершины коллектора, и особое внимание необходимо уделить выбору соответствующих приспособлений трубопровода в точках входа и выхода коллектора, как определено в 7.3. Коллектор должен быть изолирован от солнечного излучения в течение испытания на перепад давления.

11.3 Методика испытаний

Перепад давления между соединениями ввода и вывода коллектора должен быть определен для диапазона расходов, который используется в *реальной работе солнечных систем теплоснабжения*.

При отсутствии определенных рекомендаций изготовителя по расходу измерения перепада давления должны быть проведены по диапазону расходов от 0,02 до 0,1 кг/с на квадратный метр площади коллектора.

Должны быть проведены по крайней мере пять измерений значений, одинаково размещенных по диапазону расхода.

11.4 Условия испытаний

Расход жидкости во время испытаний должен сохраняться постоянным в пределах ± 1 % от номинального значения.

Во время испытаний температура теплоносителя на входе должна быть постоянной (может изменяться в пределах ± 1 °С). Испытание должно быть проведено при температуре, отличающейся не более чем на ± 10 °С от температуры окружающего воздуха. Испытания перепада давления при других значениях температуры могут быть важными для жидкостей теплоносителя на основе масла.

11.5 Измерения

Следующие данные должны быть измерены в соответствии с разделом 6:
- температура жидкости на входе коллектора;
- расход жидкости;
- перепад давления жидкости теплоносителя между соединениями входа и выхода коллектора.

11.6 Перепад давления, вызванный фитингами

Гарнитура, используемая для измерения давления жидкости, может сама служить причиной перепада давления. Нулевую проверку при перепаде давления следует проводить, убрав коллектор из жидкого контура и повторив испытания с измеряющими давление устройствами, непосредственно связанными вместе.

11.7 Вычисление и представление результатов

Перепад давления должен быть представлен графически как функция расхода жидкости для каждого выполненного испытания (см. приложение А).

Приложение А
(обязательное)

Форма протокола испытаний

А.1 Символы и единицы измерения

a_1	Коэффициент тепловых потерь при (T_m – T_a) = 0	Вт·м$^{-2}$К$^{-1}$
a_2	Зависимость коэффициента тепловых потерь от температуры	Вт·м$^{-2}$К$^{-2}$
A_A	Площадь поглощающей панели коллектора	м^2
A_a	Площадь апертуры коллектора	м^2
A_G	Общая площадь коллектора	м^2
AM	Оптическая воздушная масса	
b_u	Коэффициент эффективности коллектора (КПД) (в зависимости от ветра)	м$^{-1}$с
b_0	Константа для вычисления модификатора угла падения	
b_1	Коэффициент тепловых потерь при (T_m – T_a) = 0	Вт·м$^{-2}$К$^{-1}$
b_2	Коэффициент полезного действия (КПД) коллектора	Вт·см$^{-3}$К$^{-1}$
c_1	Коэффициент тепловых потерь коллектора при (T_m – T_a) = 0	Вт·м$^{-2}$К$^{-1}$
c_2	Зависимость коэффициента тепловых потерь от температуры	Вт·м$^{-2}$К$^{-2}$
c_3	Зависимость коэффициента тепловых потерь от скорости ветра	Дж·м$^{-3}$К$^{-1}$
c_4	Зависимость коэффициента тепловых потерь от температуры неба	Вт·м$^{-2}$К$^{-1}$
c_5	Эффективная теплоемкость	Дж·м$^{-2}$К$^{-1}$
c_6	Зависимость КПД от скорости ветра при нулевых потерях	см$^{-1}$
c_f	Удельная теплоемкость теплоносителя	Дж·кг$^{-1}$К$^{-1}$
C	Эффективная теплоемкость коллектора	ДжК$^{-1}$
D	Дата	год.мес.число
E_L	Длинноволновое излучение (λ > 3 мкм)	Вт·м$^{-2}$
E_β	Длинноволновое излучение на наклонную площадку на открытом воздухе	Вт·м$^{-2}$
E_s	Длинноволновое излучение	Вт·м$^{-2}$
F	Коэффициент формы излучения (или коэффициент видимости)	
F'	Коэффициент эффективности коллектора	
G	Полусферическое солнечное излучение	Вт·м$^{-2}$
G^*	Суммарное полусферическое солнечное излучение	Вт·м$^{-2}$
G"	Полезное солнечное излучение	Вт·м$^{-2}$
G_b	Прямое солнечное излучение	Вт·м$^{-2}$
G_d	Рассеянное (диффузное) солнечное излучение	Вт·м$^{-2}$
LT	Местное время	ч
K_θ	*Угловой коэффициент*	
$K_{\theta b}$	*Угловой коэффициент* для прямого излучения	
$K_{\theta d}$	*Угловой коэффициент* для диффузного излучения	
m	Массовый расход жидкого теплоносителя	кг·с$^{-1}$
$\dot{Q}$	Полезная мощность коллектора	Вт
Q_L	Мощность потерь коллектора	Вт
SF	Запас прочности	

t	Время	с
t_a	Температура окружающего воздуха	°С
t_{dp}	Атмосферная температура точки росы	°С
t_e	Температура на выходе коллектора	°С
t_{in}	Температура на входе коллектора	°С
t_m	Средняя температура жидкого теплоносителя	°С
t_s	Температура неба или атмосферы	°С
t_{stg}	Равновесная температура	°С
T	Абсолютная температура	К
T_a	Температура окружающего воздуха	°С
T_m^*	Приведенная разность температур ($T_m^* = (t_m - t_B)/G^*$)	$м^2 \cdot КВт^{-1}$
T_s	Температура атмосферы или эквивалентная температура неба	К
U	Измеренный коэффициент полных тепловых потерь коллектора, отнесенный к T_m^*	$Вт \cdot м^{-2}К^{-1}$
U_L	Коэффициент полных тепловых потерь коллектора с постоянной температурой ПП t_m	$Вт \cdot м^{-2}К^{-1}$
u	Скорость воздушного потока	$мс^{-1}$
V_f	Объем жидкости в коллекторе	$м^3$
Δp	Разность давления между входом и выходом жидкости коллектора	Па
Δt	Временной интервал	с
ΔT	Разность температур между выходом и входом жидкости коллектора ($t_e - t_{in}$)	К
α	Коэффициент поглощения солнечного излучения	
β	Угол наклона плоскости относительно горизонтального положения	град
γ	Азимутальный угол	град
ε	Коэффициент полусферического излучения	
ω	Часовой солнечный угол	град
θ	Угол падения	град
ϕ	Широта	град
λ	Длина волны	мкм
η	Эффективность коллектора (КПД), по отношению к T_m^*	
η_0	Эффективность коллектора (КПД) при нулевых потерях (η при $T_m^* = 0$), по отношению к T_m^*	
σ	Постоянная Стефана — Больцмана	$Вт \cdot м^{-2}К^{-4}$
ρ	Плотность жидкости теплоносителя	$кг \cdot м^{-3}$
τ	Постоянная времени коллектора	с
τ_c	Коэффициент пропускания	
$(\tau\alpha)_e$	Эффективное произведение коэффициента поглощения и коэффициента пропускания	
$(\tau\alpha)_{ed}$	Эффективное произведение коэффициента поглощения и коэффициента пропускания для диффузной солнечной радиации	
$(\tau\alpha)_{en}$	Эффективное произведение коэффициента поглощения и коэффициента пропускания для прямой солнечной радиации при вертикальном падении солнечного излучения	
$(\tau\alpha)_{e\theta}$	Эффективное произведение коэффициента поглощения и коэффициента пропускания для прямой солнечной радиации с углом падения θ	

Протокол испытаний

Идентификационный номер коллектора №: .....
Испытания проведены .....
Адрес .....
Дата.....Тел.....Факс.....Телекс.....

А.2 Описание неостекленного солнечного коллектора

А.2.1 Наименование изготовителя и модель коллектора .....

А.2.2 Коллектор

Тип: □ Неостекленный плоский □ ПП из полос
□ Другой (указать):

Общая площадь ..... $м^2$
Площадь апертуры ..... $м^2$
Площадь ПП ..... $м^2$
Число труб или каналов .....
Диаметр трубы или размеры канала ..... мм

А.2.3 Теплоноситель

Тип: □ Смесь Вода — гликоль, концентрация гликоли: ..... %
□ Другой (указать): .....
Указания (дополнения и т. д.) .....
Альтернативный теплоноситель .....

А.2.4 Абсорбер

Материал .....
Обработка поверхности .....
Тип конструкции .....
Количество жидкости ..... л
Вес нетто ..... кг

А.2.5 Теплоизоляция и обшивка

Толщина теплоизоляции ..... мм
Материал изоляции .....
Материал обшивки .....

А.2.6 Ограничения

Максимальная температура эксплуатации ..... °С
Максимальное давление ..... Па
Другие ограничения .....

А.2.7 Схематический чертеж коллектора (при необходимости прикрепить отдельную страницу)

А.2.8 Фотография коллектора (при необходимости прикрепить отдельную страницу)

А.2.9 Комментарии к проекту коллектора (при необходимости прикрепить отдельную страницу)

А.3 Мгновенный КПД

А.3.1 Метод

□ Установившиеся условия на открытом воздухе .....
□ Установившиеся условия внутри помещения .....

А.3.2 Схема испытательного контура (при необходимости прикрепить отдельную страницу)

А.3.3 Схема установки коллектора (при необходимости прикрепить отдельную страницу)

А.3.4 Результаты испытания, измеренные и полученные данные:

Полная площадь ..... $м^2$ Площадь абсорбера ..... $м^2$
Широта ..... Долгота .....
Наклон коллектора ..... ° Азимут коллектора .....
Теплоноситель ..... Местное время полудня .....

Таблица А.1 — Результаты испытания, измеренные данные

Дата, ГГ/ММ/ДД	LT, ч-мин	G, Вт/м^2	G_d/G, %	E_L, Вт/м^2	t_a, °С	U, м/с	t_{in}, °С	$t_e - t_{in}$, К	$\dot{m}$, кг/с

Таблица А.2 — Результаты испытания, полученные данные

Дата ГГ/ММ/ДД	LT, ч-мин	t_m, °С	c_f Дж/(кг·К)	$\dot{Q}$, Вт	$\frac{t_m - t_a}{G}$, м^{2}К/Вт	$\frac{t_{in} - t_a}{G}$, м^{2}К/Вт	$\overline{\eta}_G$	η_G	$\overline{\eta}_A$	η_A

А.3.5 Кривая мгновенного КПД, основанная на полной площади и температуре теплоносителя на входе в коллектор

Мгновенное КПД, определенное по формуле

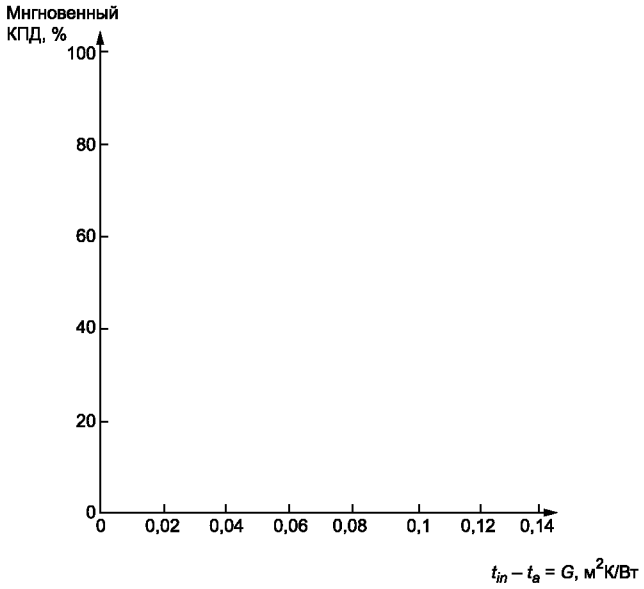
$$\eta_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G''},$$

где G" определяют по формуле

$$G'' = G + \frac{\varepsilon}{\alpha}\left(E_L - \sigma T_a^{\,4}\right),$$

где $\frac{\varepsilon}{\alpha}$ = ... (обычно 1,0).

Полная площадь коллектора, используемая для кривой . . . . . м^2
Расход жидкости, используемый во время испытания . . . . . кг/с
Площадь ПП . . . . . м^2



$$\eta_G = \eta_{0G} - \left(b_{1G} + b_{2G}u\right)\left(\frac{t_{in} - t_a}{G''}\right).$$

η_{0G} .....
b_{1G} ..... Вт/(м^2·К)
b_{2G} .....Вт с/(м^3·К)

Примечание — Линии типового КПД должны быть показаны для скорости окружающего воздушного потока u = 1, 2, 4 м/с (действительны только для эксплуатационных температур выше температуры точки росы).

А.3.6 Кривая мгновенного КПД, основанная на площади металлической поглощающей поверхности и температуре теплоносителя на входе в коллектор

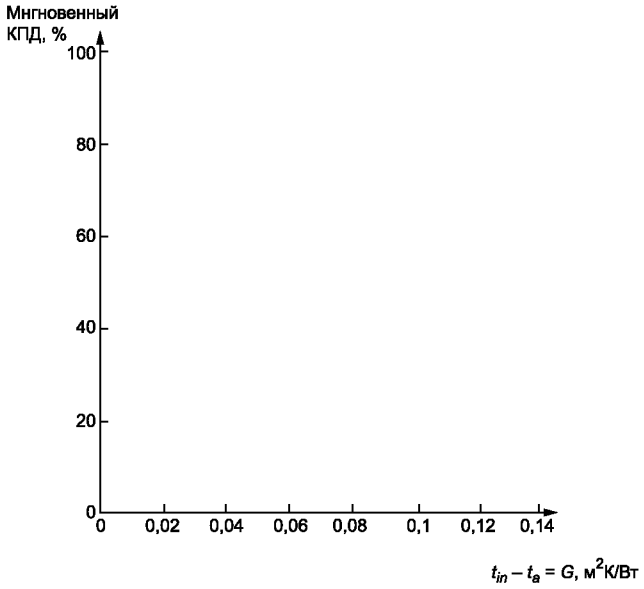
Мгновенное КПД, определенное по формуле $\eta_G = \dfrac{\dot{Q}}{A_G G''}$

где G'' определяют по формуле

$$G'' = G + \frac{\varepsilon}{\alpha}\left(E_L - \sigma T_a^4\right),$$

где $\dfrac{\varepsilon}{\alpha}$ =..... (обычно 1,0).

Площадь ПП коллектора, используемая для кривой ..... м^2
Расход жидкости, используемый во время испытания ..... кг/с
Полная площадь ..... м^2



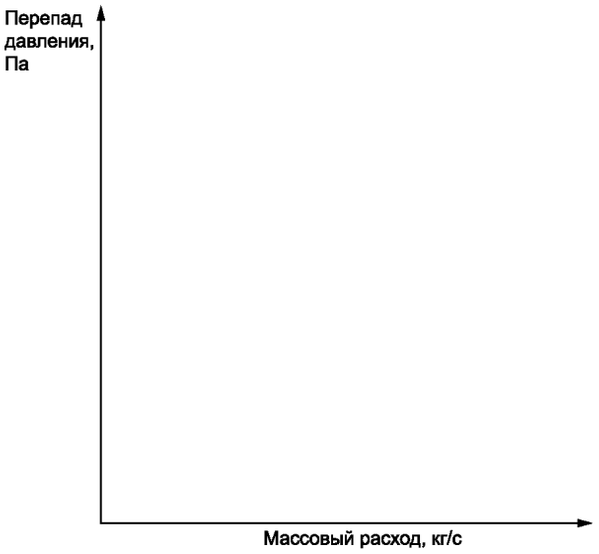
$$\eta_A = \eta_{0A} - \left(b_{1A} + b_{2A}u\right)\left(\frac{t_{in} - t_a}{G''}\right).$$

η_{0A} = ...
b_{1A} = ... Вт/(м^2·К)
b_{2A} = ...Вт с/(м^3·К)

Примечание — Линии типового КПД должны быть показаны для скорости окружающего воздушного потока u = 1, 2, 4 м/с (действительны только для эксплуатационных температур выше температуры точки росы).

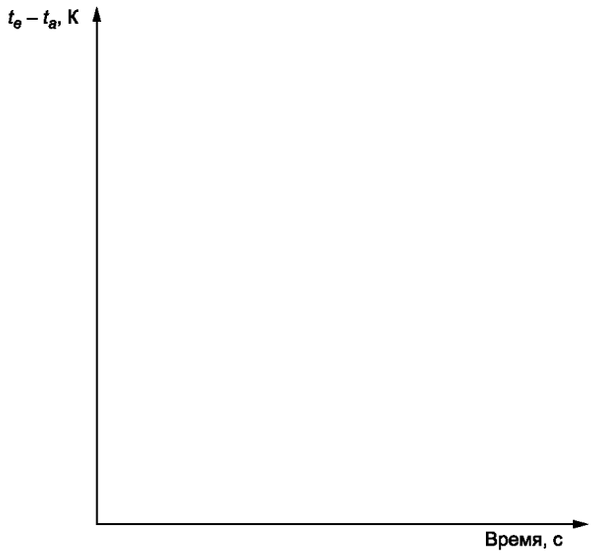
А.4 Перепад давления

Перепад давления относительно:
□ модуль коллектора □ погонный метр ПП
Жидкость. . . . . .
Температура . . . . . °С



А.5 Постоянная времени

τ_c..... с



А.6 Эффективная теплоемкость (расчетная)

C ..... Дж/К

Приложение Б
(справочное)

Угловой коэффициент коллектора

Б.1 Введение

Если падение солнечного луча не является вертикальным, то КПД η_0 в формуле (5) может быть заменено на $K_\nu\eta_0$, где K_ν является угловым коэффициентом

$$\eta = K_\nu\eta_0 - U_L\frac{t_{in} - t_a}{G''}. \quad (Б.1)$$

На рисунке Б.1 показана типовая зависимость K_ν от угла падения для неостекленного солнечного коллектора.

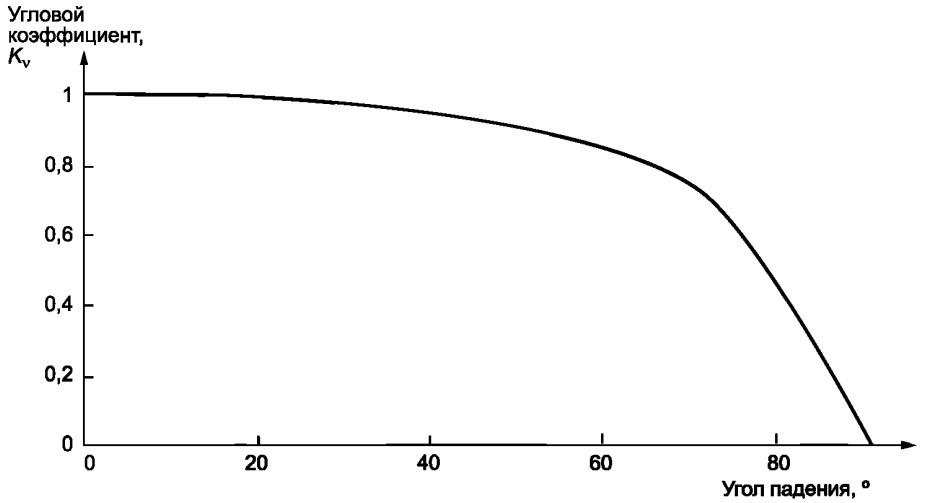


Рисунок Б.1 — Типовая зависимость K_ν от угла падения

Смысл K_ν в методике испытаний, описанной в настоящем приложении, состоит в том, что значения тепловой эффективности определены для коллектора при (или почти) вертикальных направлениях падения излучения. Поэтому точка пересечения оси ординат Y с кривой КПД равна η_0.

Для определения значения K_ν, обеспечивающего работу коллектора в широком диапазоне условий и/или времени дня, следует провести дополнительное испытание и использовать формулу Б.1.

Б.2 Экспериментальное определение углового коэффициента коллектора

Испытание солнечного коллектора для определения углового коэффициента может быть проведено одним из двух методов. Однако в ходе каждого из испытаний ориентация коллектора должна быть такой, чтобы коллектор удерживался в пределах ± 2,5 угла падения, для которого проводится проверка.

Б.2.1 Метод 1

Этот метод применим для испытаний в закрытом помещении с использованием искусственного источника или на открытом воздухе с использованием подвижного испытательного стенда (крепят альтазимут-коллектор) так, чтобы коллектор мог быть установлен произвольным образом к направлению падающей солнечной радиации.

Коллектор должен быть ориентирован таким образом, чтобы испытуемый угол падения между ним и прямой солнечной радиацией для четырех условий испытаний должен быть приблизительно 0°, 30°, 45° и 60° соответственно. Рекомендуется, чтобы эти значения были установлены в течение целого дня. Для некоторых коллекторов с необычными оптическими рабочими характеристиками могут быть необходимы другие углы.

Средняя температура жидкости теплоносителя должна контролироваться настолько тщательно, насколько возможно (предпочтительно в пределах ± 1 К к окружающей температуре). Четыре отдельных значения КПД должны быть определены в соответствии с 8.4.

Б.2.2 Метод 2

Этот метод применим для испытаний на открытом воздухе с использованием стационарного испытательного стенда, на котором ориентация коллектора относительно направления падающей солнечной радиации не регулируется (за исключением корректировки наклона).

Средняя температура жидкости теплоносителя контролируется в пределах ± 1 °С окружающей температуры. Значение эффективности должно быть определено таким способом, чтобы одно значение эффективности было взято перед солнечным полуднем, а второе значение — после солнечного полудня. Средний угол падения между коллектором и солнечным лучом для обоих измерений должен сохраняться постоянным. Эффективность коллектора для определенного угла падения определяют как среднеарифметическое из двух значений.

Значение эффективности должно быть определено в соответствии с методом, описанным в 8.3. Как и при методе 1, данные должны быть собраны для углов падения приблизительно 0°, 30°, 45° и 60°. Для некоторых коллекторов с необычными оптическими рабочими характеристиками могут быть необходимыми другие углы.

Б.3 Расчет углового коэффициента коллектора

Независимо от метода испытаний, значения теплового КПД коллектора должны быть определены для каждого значения угла падения. Для неостекленных коллекторов достаточно углов падения 0°, 30°, 45° и 60°. Как только средняя температура жидкости будет поддерживаться близкой к температуре окружающей среды, чтобы $(t_m - t_a) \approx 0$, то соотношение между K_ν и КПД выглядит следующим образом

$$K_\nu = \frac{\eta}{\eta_0}. \qquad (Б.2)$$

Сразу же после того, как η_0 получен как пересечение *Y*-оси с кривой КПД, значения K_ν могут быть вычислены для различных углов.

Если среднюю температуру жидкости нельзя регулировать, чтобы сравняться с температурой окружающей среды в пределах ± 1 К, то значение K_ν должно быть вычислено как:

$$K_\nu = \frac{\eta + (b_1 + b_2 u)\dfrac{t_{in} - t_a}{G''}}{\eta_0}, \qquad (Б.3)$$

где η — это КПД, измеренный для требуемого угла падения.

В качестве альтернативы каждая точка может быть построена на таком же графике с кривой КПД, определенной в соответствии с 8 или 9, и линия, проведенная через каждую точку, параллельна кривой КПД, чтобы пересечь ось *Y*.

Значения точек пересечения *Y* являются значениями КПД, которые привели бы к выравниванию с температурой окружающей среды (при условии, что средняя температура жидкости регулируема). Поэтому эти значения могут использоваться вместе с формулой Б.1, чтобы вычислить различные значения K_ν.

Приложение В
(справочное)

Характеристики неостекленных солнечных коллекторов

В.1 Основные выражения для полученной энергии

Полезная полученная энергия Q_t неостекленного коллектора при одинаковой температуре T_t, работающего при установившихся условиях, может быть описана формулой

$$\dot{Q}_t = A_a\left[\alpha G - h_c\left(T_t - T_a\right) - \varepsilon\sigma\left(T_t^4 - T_s^4\right)\right], \quad (B.1)$$

где A_a — это площадь апертуры коллектора.

Длинноволновой (тепловой) радиационный обмен в формуле В.1 связан только с температурой неба T_s. Если коллектор наклонен, тогда тепловой обмен будет и с небом, и с землей. Температуру земли не включают в выражение теплового радиационного обмена, так как в течение испытания земля входит в очень маленькое поле зрения коллектора, так, например, при угле наклона в 45° земля составляет лишь 15 % поля зрения коллектора.

Чтобы избежать трудности в двух выражениях температур в характеристике полезной полученной энергии, требуется выполнить следующее:

$$\dot{Q}_t = A_a\left[\alpha G - h_c\left(T_t - T_a\right) - \varepsilon\sigma\left(T_t^4 - T_a^4 + T_a^4 - T_s^4\right)\right], \quad (B.2)$$

или

$$\dot{Q}_t = A_a\left[\alpha G + \varepsilon\sigma\left(T_s^4 - T_a^4\right) - h_c\left(T_t - T_a\right) - \varepsilon\sigma\left(T_t^4 - T_a^4\right)\right], \quad (B.3)$$

или

$$\dot{Q}_t = A_a\left[\alpha G + \varepsilon\left(E_L - \sigma T_a^4\right) - h_c\left(T_t - T_a\right) - h_r\left(T_t - T_a\right)\right], \quad (B.4)$$

или

$$\dot{Q}_t = A_a\left[\alpha G + \varepsilon\left(E_L - \sigma T_a^4\right) - U_L\left(T_t - T_a\right)\right], \quad (B.5)$$

где E_L — длинноволновое излучение на поверхности коллектора.

Таким образом, полезная полученная энергия неостекленной ПП с учетом поперечного и продольного градиентов температуры может быть выражена в единицах показателя теплоотвода и температуры жидкости на входе следующей формулой:

$$\dot{Q}_u = F_R A_a\left[\alpha G + \varepsilon\left(E_L - \sigma T_a^4\right) - U_L\left(T_{in} - T_a\right)\right]. \quad (B.6)$$

В.2 Основные выражения для функции КПД

При определении полезного падающего излучения G'' функция КПД принимает стандартную форму функции Hottel — Whillier-Bliss:

$$\eta = \frac{Q}{A_a G''} = F_R\alpha - F_R U_L \frac{T_{in} - T_a}{G''}, \quad (B.7)$$

где G'' определяют по формуле

$$G'' = G + \frac{\varepsilon}{\alpha}\left(E_L - \sigma T_a^4\right), \quad (B.8)$$

где α — коэффициент поглощения солнечного излучения,

ε — излучательная способность поверхности коллектора для тепловой (длинноволновой) радиации, $\varepsilon/\alpha \geq 1$ (обычно равно 1).

Длинноволновое излучение E_L на открытом воздухе на поверхности коллектора, наклоненного под углом $\beta \leq 45°$, вычисляют по формуле

$$E_L = \varepsilon_s\sigma T_a^4 \frac{1+\cos\beta}{2}. \quad (B.9)$$

Для углов более чем 45° будет происходить тепловой обмен с землей, тогда длинноволновое излучение E_L вычисляют по формуле

$$E_L = \varepsilon_s\sigma T_a^4 \frac{1+\cos\beta}{2} + \varepsilon_g\sigma T_g^4 \frac{1-\cos\beta}{2}. \quad (B.10)$$

КПД, рассчитанный из характеристики по данным испытания, вычисляют по следующей формуле:

$$\eta = \frac{\dot{m}c_f\left(T_e - T_{in}\right)}{G''}. \quad \text{(B.11)}$$

Хотя формула B.7 имеет форму уравнения Hottel — Whillier-Bliss, коэффициенты сильно зависят от скорости окружающего воздушного потока u. Для неостекленных коллекторов коэффициенты в формуле B.7 зависят от скорости воздушного потока и могут быть представлены следующей линейной аппроксимацией:

$$\eta = \eta_0 - \left(b_1 + b_2 u\right)\frac{T_{in} - T_a}{G''}. \quad \text{(B.12)}$$

КПД η_0 может быть также зависимым от скорости воздушного потока, однако очень сложно определить данную зависимость для испытания на открытом воздухе.

Приложение Г
(справочное)

Свойства воды

Таблица Г.1 — Свойства воды

Температура °С	Плотность ρ, 10^3кг/м^3	Теплоемкость c_f, кДж/(кг·К)	Коэффициент кинематической вязкости ν, 10^{-6}м^2/с	Коэффициент динамической вязкости μ, 10^{-6}Нс/м^2
5	0,9999	4,204	1,5010	1501
10	0,9997	4,193	1,3000	1300
15	0,9990	4,186	1,1370	1136
20	0,9982	4,183	1,0040	1002
25	0,9970	4,181	0,8927	890
30	0,9956	4,179	0,8005	797
35	0,9940	4,178	0,7273	718
40	0,9922	4,179	0,6561	651
45	0,9902	4,181	0,5999	594
50	0,9881	4,182	0,5505	544
55	0,9852	4,183	0,5085	501
60	0,9833	4,185	0,4709	463
65	0,9804	4,188	0,4386	430
70	0,9775	4,191	0,4092	400
75	0,9747	4,194	0,3837	374
80	0,9718	4,198	0,3612	351
85	0,9690	4,203	0,3406	330
90	0,9653	4,208	0,3222	311
95	0,9615	4,213	0,3058	294

Библиография

[1] *ИСО 9806-2:1995 (ISO 9806-2:1995)* Установки солнечные тепловые и их компоненты. Методы испытаний солнечных коллекторов. Часть 2. Процедуры квалификационных испытаний
(Test methods for solar collectors — Part 2: Qualification test procedures)

[2] *ИСО 9060:1990 (ISO 9060:1990)* Энергия солнечная. Технические требования и классификация приборов для измерения полусферической и прямой солнечной радиации (Solar energy. Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation)

[3] *ИСО 9845-1:1992 (ISO 9845-1:1992)* Энергия солнечная. Спектральная плотность эталонной инсоляции на землю при различных режимах приема. Часть 1. Прямая перпендикулярная и полусферическая инсоляция для массы воздуха 1,5
(Solar energy. Reference solar spectral irradiance at the ground at different receiving conditions — Part 1: Direct normal and hemispherical solar irradiance for air mass 1,5)

[4] *ИСО 9806-1:1994 (ISO 9806-1:1994)* Методы испытаний солнечных коллекторов. Часть 1. Тепловые характеристики, включая перепад давления, остекленных коллекторов с жидким теплоносителем
(Test methods for solar collectors — Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop)

УДК 620.91:644.001.4:006.354 ОКС 27.160

Ключевые слова: коллекторы солнечные, коллекторы солнечные неостекленные, производительность, тепловая характеристика, протокол испытаний

Редактор *А.П. Корпусова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Г.В. Яковлева*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 09.11.2015. Подписано в печать 25.02.2016. Формат 60 ×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,19. Уч.-изд. л. 3,35. Тираж 31 экз. Зак. 554.

Набрано в ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
www. jurisizdat. ru gost.e-ecolog.ru

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

gost.e-ecolog.ru