ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ

ПНСТ 41— 2015 (ИСО 9806-1:1994)

Возобновляемая энергетика

УСТАНОВКИ СОЛНЕЧНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ И ИХ КОМПОНЕНТЫ

Методы испытаний солнечных коллекторов

Часть 1

Тепловые характеристики, включая перепад давления, остекленных коллекторов с жидким теплоносителем

ISO 9806-1:1994
Test methods for solar collectors. Part 1. Thermal performance of glazed liquid heating collectors 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. № 16-пнст

4 Настоящий стандарт модифицирован по отношению к международному стандарту ИСО 9806-1:1994 «Методы испытаний солнечных коллекторов. Часть 1. Тепловые характеристики, включая перепад давления, остекленных коллекторов с жидким теплоносителем» (ISO 9806-1:1994 «Test methods for solar collectors. Part 1. Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop») путем изменения отдельных фраз (слов, значений показателей), которые выделены в тексте курсивом.

В настоящий стандарт не включена библиография ИСО 9806-1:1994 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 Угол наклона 2
5.4 Расположение коллектора 2
5.5 Затенение от прямого солнечного излучения 2
5.6 Рассеянная и отраженная солнечная радиация 2
5.7 Тепловая радиация 3
5.8 Скорость воздушного потока 3
6 Оборудование 3
6.1 Измерение солнечного излучения 3
6.2 Измерение теплового излучения 4
6.3 Измерение температуры 5
6.4 Измерение расхода жидкости в коллекторе 6
6.5 Измерение скорости воздушного потока 6
6.6 Измерения давления 6
6.7 Время испытаний 7
6.8 Оборудование/регистратор данных 7
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 9
7.3 Трубопровод и водопроводная арматура 10
7.4 Насос и устройства управления расходом жидкости 10
7.5 Регулирование температуры жидкости теплоносителя 10
8 Испытание на производительность в установившемся режиме на открытом воздухе 11
8.1 Испытательная установка 11
8.2 Предварительная подготовка коллектора 11
8.3 Условия проведения испытаний 11
8.4 Методика испытаний 11
8.5 Измерения 12
8.6 Продолжительность испытаний (установившейся режим) 12
8.7 Представление результатов 12
8.8 Вычисление производительности коллектора 12
9 Испытание на определение КПД в установившемся режиме с источником искусственного солнечного излучения 15
9.1 Общие положения 15
9.2 Искусственный источник радиации для испытания на определение КПД в установившемся режиме 16

9.3 Испытательная установка 17
9.4 Предварительная подготовка коллектора 17
9.5 Методика испытаний 17
9.6 Измерения при испытаниях с источниками искусственного солнечного излучения 17
9.7 Длительность испытаний 17
9.8 Условия проведения испытаний 18
9.9 Обработка и представление результатов 18
10 Определение эффективной теплоемкости и постоянной времени коллектора 18
10.1 Общие положения 18
10.2 Определение эффективной теплоемкости коллектора 18
10.3 Методика испытаний постоянной времени коллектора 19
10.4 Расчет постоянной времени коллектора 19
11 Угловой коэффициент коллектора 20
11.1 Общие положения 20
11.2 Измерение углового коэффициента в условиях искусственного источника радиации 20
11.3 Методика испытаний 21
11.4 Расчет углового коэффициента коллектора 21
12 Определение перепада давления поперек коллектора 22
12.1 Общие положения 22
12.2 Испытательная установка 22
12.3 Подготовка коллектора 22
12.4 Методика испытаний 22
12.5 Измерения 22
12.6 Перепад давления, вызванный фитингами 22
12.7 Условия испытаний 22
12.8 Вычисление и представление результатов 23
Приложение А (обязательное) Форма протокола испытаний 24
Приложение Б (справочное) Характеристики солнечного коллектора 35
Приложение В (справочное) Солнечный спектр 39
Приложение Г (справочное) Свойства воды 40
Приложение Д (справочное) Измерение эффективной теплоемкости 41
Приложение Е (справочное) Двухосный угловой коэффициент 43
Библиография 44

ПНСТ 41—2015
(ИСО 9806-1:1994)

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 1

Тепловые характеристики, включая перепад давления, остекленных коллекторов с жидким теплоносителем

Renewable power engineering. Thermal solar systems and their components. Test methods for solar collectors. Part 1. Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop

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

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы испытаний для определения тепловых характеристик остекленных солнечных коллекторов с жидким теплоносителем. *Данные испытания являются частью последовательности* испытаний, описанных в *[1]*.

Настоящий стандарт определяет методы испытаний и вычислений для определения стационарных и квазистационарных тепловых характеристик солнечных коллекторов. В нем описаны методы для проведения испытаний на открытом воздухе под воздействием естественного солнечного излучения и для проведения испытаний внутри помещения под воздействием источника искусственного солнечного излучения.

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

Настоящий стандарт не применим ни к неостекленным коллекторам, ни к коллекторам с концентраторами и системой слежения за солнцем (см. *[2]* для методов испытаний неостекленных коллекторов).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ГОСТ Р 51594—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 использованы термины и определения в соответствии с *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

Способ установки коллектора будет влиять на результаты испытаний на теплопроизводительность. Испытуемые коллекторы должны быть установлены в соответствии с 5.2—5.8.

Необходимо испытывать коллекторы реального размера, так как краевые потери маленьких коллекторов могут значительно уменьшить их производительность.

5.2 Монтажная рама коллектора

Монтажная рама коллектора не должна перекрывать апертуру коллектора и нарушать изоляцию боковой или задней части коллектора. Если не определено иначе (например, когда коллектор встроен в крышу), монтажная рама должна быть открытой, для того чтобы воздух мог свободно циркулировать вокруг боковой и задней части коллектора. Коллектор должен быть укреплен таким образом, чтобы его нижний край был не меньше, чем на 0,5 м выше поверхности земли. Потоки теплого воздуха, которые поднимаются вдоль стен здания, не должны проходить через коллектор. Если коллекторы испытывают на крыше здания, они должны быть расположены не менее чем в 2 м от края крыши.

5.3 Угол наклона

Коллектор должен быть установлен таким образом, чтобы угол наклона апертуры коллектора относительно горизонта составлял: широта местности, где проводят испытания, ± 5 °, но не менее чем 30 °.

Коллекторы могут быть испытаны при других углах наклона, которые рекомендованы производителями или указаны для действующей установки.

Примечание — Для многих коллекторов влияние угла наклона является несущественным, но это может стать важным для специализированных коллекторов, например объединенных тепловых труб.

5.4 Расположение коллектора

Коллектор может быть установлен на открытом воздухе в положении лицом к экватору, но это ограничит диапазон углов падения солнечного излучения. Более эффективной является установка коллектора с устройством (ручным или автоматическим) слежения за солнцем в азимутальной плоскости.

5.5 Затенение от прямого солнечного излучения

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

5.6 Рассеянная и отраженная солнечная радиация

В целях анализа результатов наружных испытаний принято считать, что солнечная радиация, не поступающая непосредственно от солнечного диска, изотропна в полусфере ориентации коллектора. Для того чтобы минимизировать ошибки, вытекающие 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. С некоторыми типами коллекторов, в частности вакуумированных трубчатых коллекторов, важно минимизировать отражение как на переднюю, так и на заднюю части коллектора. Затенено может быть не более 5 % площади коллектора. Особенно важно учесть следующее: перед коллектором не должно быть зданий или больших преград с углом к горизонту больше чем приблизительно 15°. Отражательная способность большинства грубых поверхностей, например 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. В большинстве искусственных источников солнечного излучения прямую солнечную радиацию можно получить только приблизительно. Для того 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).

5.7 Тепловая радиация

Некоторые коллекторы особенно чувствительны к тепловому излучению. Для того чтобы минимизировать влияние теплового 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. Для внутренних и модельных испытаний коллектор должен быть огражден от горячих поверхностей, в частности радиаторов, каналов и машин кондиционирования воздуха, и от холодных поверхностей, например окон и внешних стен. Экранирование важно как перед, так и позади коллектора.

5.8 Скорость воздушного потока

Многие коллекторы весьма чувствительны к скорости воздушного потока. Для того чтобы получить максимально точные результаты, коллекторы должны быть укреплены таким образом, чтобы воздух мог свободно проходить по всей апертуре, позади и по боковым сторонам коллектора. Средняя скорость воздушного потока, параллельного апертуре коллектора, должна быть в пределах, определенных в 8.3. При необходимости должны быть использованы искусственные вентиляторы, для того чтобы создать поток с требуемой скоростью. Коллекторы, разработанные для встраивания в крышу, могут иметь заднюю часть, защищенную от ветра, что также следует отметить в результатах испытаний.

6 Оборудование

6.1 Измерение солнечного излучения

6.1.1 Пиранометр

Для того чтобы измерять суммарную коротковолновую радиацию солнца и неба, нужно использовать пиранометр класса I или выше. *Следует соблюдать практические рекомендации по их использованию.*

6.1.1.1 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.

6.1.1.2 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), которое может быть осмотрено при необходимости. За состоянием диссикатора необходимо следить регулярно.

6.1.1.3 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 действие инфракрасной радиации с длиной волны выше 3 мкм от моделируемого источника света.

6.1.1.4 Установка пиранометра на открытом воздухе

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 аналогичное количество прямого, рассеянного и отраженного излучения, которое получает коллектор.

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

6.1.1.5 Использование пиранометров в искусственных источниках солнечного излучения

Пиранометры могут использовать, для того чтобы измерять распределение искусственного солнечного излучения по апертуре коллектора и временные колебания искусственного излучения (см. 9.6.1). Могут также применять другие типы радиационного детектора при условии, что они были откалиброваны для рассматриваемого искусственного солнечного излучения.

6.1.1.6 Калибровочный интервал

Пиранометр должен быть откалиброван для измерения солнечной радиации в течение 12 мес перед проведением испытаний коллектора в соответствии с методикой, приведенной в *[3]* или *[4]*. 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. Все калибровки должны быть произведены в соответствии с шкалой мирового радиометрического эталона.

6.1.2 Измерение угла падения прямого солнечного излучения

Простое устройство для измерения угла падения прямого солнечного излучения может состоять из указателя типа стрелки, перпендикулярного плоской пластине, на которой отмечены градуированные концентрические кольца. Длину тени, брошенную указателем, измеряют с помощью градуированных концентрических колец и используют для определения угла падения. Устройство должно быть размещено в плоскости коллектора и с одной стороны коллектора.

Примечание — Угол падения прямого солнечного излучения θ может быть подсчитан через часовой угол солнца ω, угол наклона коллектора β, угол азимута коллектора γ и широту места испытания φ, используя следующие выражения:

$$\cos = (\sin\delta \sin\varphi \cos\beta) - (\sin\delta \cos\varphi \sin\beta \cos\gamma) + (\cos\delta \cos\varphi \cos\beta \cos\omega) + (\cos\delta \sin\varphi \sin\beta \cos\gamma \cos) + (\cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega),$$

где солнечное наклонение δ для n номера дня года: $\delta = 23{,}45 \sin [360(284+n)/365]$.

6.2 Измерение теплового излучения

6.2.1 Измерение теплового излучения на открытом воздухе

Обычно виды теплового излучения не принимают во внимание при испытании коллектора на открытом воздухе. Однако для определения тепловой радиации в апертуре коллектора может быть укреплен пиргеометр на плоскости апертуры коллектора и к одной стороне в середине высоты.

6.2.2 Определение теплового излучения в закрытом помещении и в искусственных солнечных источниках

6.2.2.1 Измерение

Тепловая радиация может быть измерена, используя пиргеометр, как отмечено в 6.2.1, для наружных измерений. Пиргеометр должен быть хорошо вентилируемым, чтобы минимизировать влияние солнечной или искусственной солнечной радиации. Для испытаний внутри помещения тепловая радиация должна быть определена со стандартной погрешностью в ±10 Вт/м^2.

6.2.2.2 Вычисление

При условии, что могут быть определены все источники и приемники тепловой радиации в области наблюдения коллектора, тепловая радиация в апертуре коллектора может быть вычислена, используя измерения температуры, измерения излучающей способности поверхности и коэффициента формы излучения.

Приход тепловой радиации на поверхность коллектора (индекс 1) от более горячей поверхности (индекс 2) имеет вид $\sigma\varepsilon_2 F_{12} T_2^4$.

Однако удобнее использовать значение дополнительной тепловой радиации (по сравнению с той, которая наблюдалась бы, если бы поверхность 2 была бы абсолютно черным телом), которая выражается как

$$\sigma F_{12}(\varepsilon_2 T_2^4 - T_a^4). \quad (1)$$

В приложении А приведены обозначения символов. Коэффициенты формы излучения приведены в учебниках по радиационному теплообмену. Тепловая радиация в апертуре коллектора может также быть вычислена по ряду измерений, сделанных для маленьких пространственных углов в области наблюдения. Такие измерения могут быть сделаны, используя пиргелиометр с применением и без стеклянного фильтра для определения тепловой составляющей суммарной радиации.

6.3 Измерение температуры

При испытании солнечного коллектора должны быть проведены измерения температуры в трех точках: температуры жидкости на входе коллектора, температуры жидкости на выходе коллектора и температуры окружающей среды. Необходимая точность измерения для температуры жидкости и для окружающего воздуха отличается. Это значит, что датчики для температуры и связанное с ними оборудование для этих измерений будут различными.

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

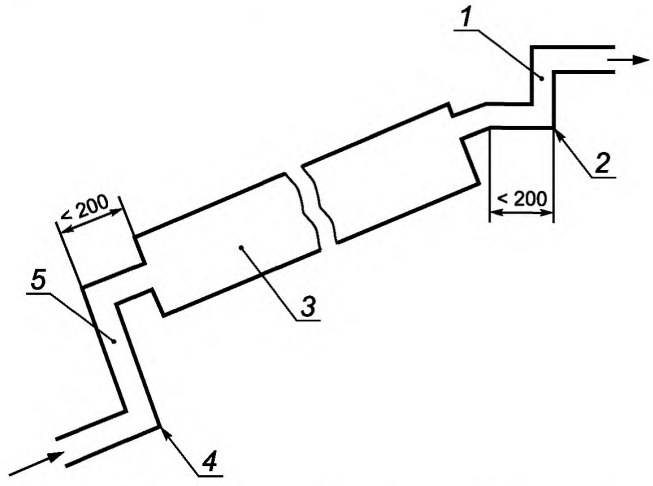
6.3.1.1 Необходимая точность

Температура жидкого теплоносителя на входе в коллектор 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.

Примечание — Это разрешение необходимо для всего диапазона значений температуры, используемых при испытании коллектора (то есть от 0 °C до 100 °C), которые требуют особенной точности для записи данных.

6.3.1.2 Монтаж датчиков

Датчик для измерения температуры должен быть укреплен не дальше, чем в 200 мм от входа коллектора, и теплоизолирован. Если необходимо поместить датчик на расстоянии более 200 мм от коллектора, то нужно проверить, 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 также должен быть установлен против потока жидкости в той части трубопровода, где поток поднимается (для того чтобы предотвращать застой воздуха вблизи датчика), как показано на рисунке 1.



1 —датчик температуры (t_e ΔT) 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 ΔT

Разность температуры на входе и выходе ΔT должна быть определена со стандартной погрешностью < 0,05 K. Стандартные погрешности, приближающиеся к 0,02 °C, могут быть достигнуты с помощью использования современных хорошо откалиброванных датчиков, которые позволяют измерить разность температуры жидкого теплоносителя в 1 °C или 2 °C с приемлемой точностью. Датчики разности температуры должны быть откалиброваны в необходимом температурном диапазоне.

6.3.3 Измерение температуры окружающего воздуха t_a

6.3.3.1 Требуемая точность

Температура окружающего воздуха должна быть измерена со стандартной погрешностью 0,5 K.

6.3.3.2 Монтаж датчиков

Для наружных измерений датчик должен быть экранирован от прямого и отраженного солнечного излучения посредством окрашенного в белый цвет проветриваемого кожуха, предпочтительно с принудительной вентиляцией. Кожух должен быть экранирован и помещен на середине высоты коллектора по крайней мере на 1 м выше поверхности земли, для того чтобы исключить влияние тепла земли.

Кожух должен быть размещен с одной стороны коллектора и не больше, чем в 10 м от него. Если вентиляция коллектора осуществлена с помощью вентилятора, то температура воздуха должна быть измерена на выходе вентилятора, а также следует проверить, что эта температура не отличается от температуры окружающей среды больше, чем на ± 1 K.

6.4 Измерение расхода жидкости в коллекторе

Массовый расход жидкости может быть измерен напрямую или 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.

6.5 Измерение скорости воздушного потока

Тепловые потери коллектора возрастают с увеличением скорости воздушного потока через коллектор, но влияние направления вектора скорости воздушного потока еще не вполне понятно. Поэтому направление скорости воздушного потока при испытании коллектора не измеряют.

Соотношение между метеорологической скоростью ветра и скоростью воздушного потока через коллектор зависит от расположения испытательного оборудования, поэтому метеорологическая скорость ветра не является полезным параметром для испытания коллектора. При измерении скорости воздушного потока через коллектор нужно как можно четче определить состояния, в которых были выполнены измерения.

6.5.1 Требуемая точность

Скорость окружающего потока воздуха на лицевой поверхности коллектора должна быть измерена со стандартной погрешностью 0,5 м/с для испытаний как с расположением испытательного оборудования на открытом воздухе (наружное испытание), так и для испытаний, проводимых в помещении (внутренних испытаний). При наружных испытаниях скорость окружающего воздушного потока часто изменяется, 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, через равные промежутки по площади коллектора.

Полученные измерения усредняют. Измерения скорости воздушного потока в закрытом помещении в стабильном состоянии должны быть проведены до и после испытаний на производительность, для того чтобы избежать затенения апертуры коллектора.

Во время испытаний на открытом воздухе в тех местах, где средняя скорость ветра ниже 3 м/с, нужно использовать вентилятор, и измерения анемометром должны быть сделаны аналогично испытанию внутри помещения. В ветреных местах измерение скорости ветра должно быть сделано близко к коллектору на середине высоты коллектора. Датчик не должен быть огражден от ветра и не должен отбрасывать тень на коллектор во время испытаний.

6.5.3 Калибровка

Анемометр должен проходить процедуру калибровки один раз в год.

6.6 Измерения давления

Перепад давления теплоносителя в коллекторе должен быть измерен устройством с точностью ± 3,5 кПа.

6.7 Время испытаний

Время должно быть измерено со стандартной погрешностью 0,2 %.

6.8 Оборудование/регистратор данных

Наименьшее деление шкалы инструментов и измерительных приборов не должно быть больше удвоенной величины указанной стандартной погрешности измерения. Например, если указанная стандартная погрешность будет 0,1 °С, то наименьшее деление шкалы не должно превышать 0,2 °С. Цифровая техника и электронные интеграторы должны иметь стандартную погрешность, равную или меньшую, чем 1,0 % от измеряемой величины.

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

6.9 Площадь коллектора

Площадь коллектора [поглощающей поверхности (ПП), общая или апертуры] измеряют со стандартной погрешностью ± 0,1 %.

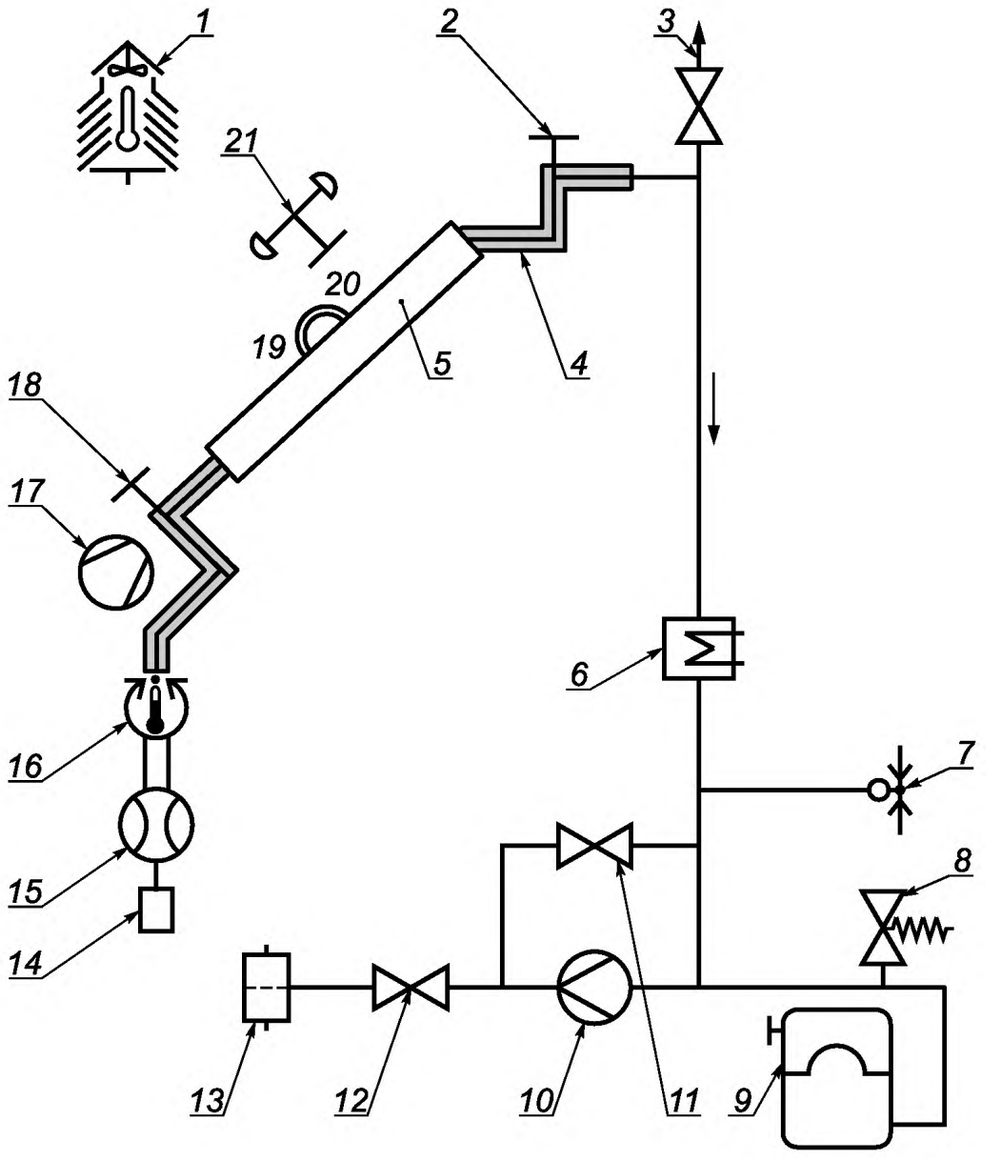
6.10 Объем жидкого теплоносителя коллектора

Объем теплоносителя коллектора, выраженного как эквивалентная масса жидкого теплоносителя, используемого для испытания, должен быть измерен со стандартной погрешностью не больше ± 10 %. Измерения могут быть сделаны взвешиванием коллектора (пустого и наполненного жидкостью) или определением массы жидкости, которую извлекают из заполненного коллектора. Температуру жидкости следует поддерживать в пределах 20 °С температуры окружающей среды.

7 Испытательная установка

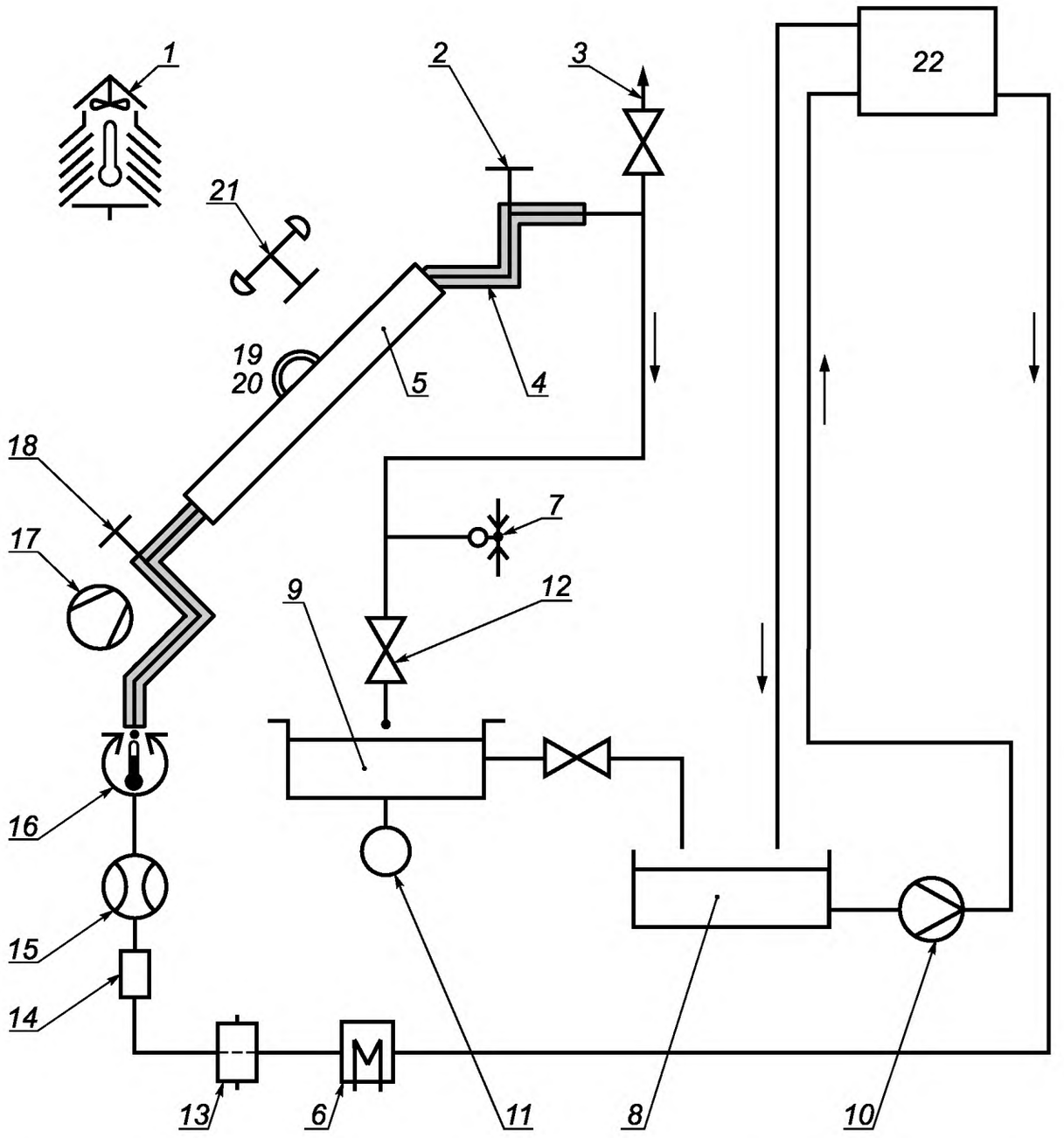
7.1 Общие положения

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



1 — датчик температуры окружающего воздуха; *2* — температурный датчик 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 t_{in}; *19* — пиргеометр; *20* — пиранометр; *21* — анемометр

Рисунок 2 — Пример замкнутого испытательного контура



1 — датчик температуры окружающего воздуха; *2* — температурный датчик 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* — температурный датчик 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 приведены для воды в приложении Г. Некоторые жидкости необходимо периодически заменять, чтобы их свойства оставались хорошо выраженными.

Массовый расход жидкости теплоносителя должны быть постоянными 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 и допускающим работу при температуре свыше 95 °С. Если используют неводные жидкости, то должна быть подтверждена их совместимость с материалами системы. Участки труб должны быть максимально короткими. В частности, участок трубы между выходом регулятора температуры жидкости и входом коллектора следует минимизировать 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 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 таким образом, 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 устанавливать непосредственно перед температурными датчиками (см. 6.3).

Должен быть установлен короткий кусок прозрачной трубки в контуре циркуляции жидкости таким образом, 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 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 близи от измерительных приборов и насоса в соответствии с существующей практикой (фильтр 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. При необходимости можно добавить дополнительные устройства регулирования потока, чтобы стабилизировать массовый расход.

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

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 определяют измерением мгновенных значений входной и выходной температуры жидкости, даже небольшие изменения входной температуры могут привести к ошибкам в определении накопленной энергии. Очень важно избегать любых колебаний температуры на входе в коллектор.

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 коллектора. Этот вторичный регулятор обычно регулирует температуру жидкости не больше, чем ± 2 К.

8 Испытание на производительность в установившемся режиме на открытом воздухе

8.1 Испытательная установка

Коллектор должен быть установлен в соответствии с указаниями, данными в 6.1.1, и соединен с испытательным контуром, как описано в 6.1.3. Жидкость теплоносителя должна течь от основания до вершины коллектора или в соответствии с рекомендациями изготовителя.

8.2 Предварительная подготовка коллектора

Коллектор должен пройти ряд приемочных испытаний в соответствии с *[1]*, прежде чем будет испытан на производительность.

Коллектор должен быть осмотрен, и любое повреждение должно быть зарегистрировано. Поверхность апертуры коллектора должна быть полностью очищена. При наличии признаков влажности на компонентах коллектора, жидкость теплоносителя при температуре приблизительно 80 °С должна подаваться в контур до тех пор, пока изоляция и корпус коллектора не высохнут.

Выполнение предварительной подготовки коллектора должно быть отмечено в протоколе испытаний. Трубопровод коллектора следует вентилировать воздухом через воздушный клапан или жидкостью с большим расходом. Наличие в жидкости воздуха или частиц следует контролировать посредством прозрачной трубки, встроенной в трубопроводный контур. Любые загрязнители должны быть удалены.

8.3 Условия проведения испытаний

Во время испытаний солнечное излучение на плоскости апертуры коллектора должна быть больше 800 Вт/м^2.

Угол падения прямого солнечного излучения на апертуру коллектора должен находиться в диапазоне, в котором угловой коэффициент для коллектора изменяется не больше, чем на ± 2 % от значения при вертикальном падении. Для отдельных остекленных плоских коллекторов это условие удовлетворяется, если угол падения прямого солнечного излучения на апертуру коллектора меньше 30°.

Однако для специальных условий могут быть нужны меньшие значения угла падения. Для того чтобы оценить работу коллектора при других углах, необходимо определить угловой коэффициент (см. 11).

Среднее значение скорости воздушного потока, параллельного апертуре коллектора, должно быть в диапазоне от 2 до 4 м/с, принимая во внимание пространственные вариации по коллектору и временные изменения в течение испытания.

Расход жидкости должен быть установлен приблизительно в 0,02 кг/с на м^2 области апертуры коллектора. Он должен сохраняться в пределах ± 1 % от установленного значения в течение всего испытания и не изменяться больше, чем на ± 10 % от установленного значения в каждом следующем испытании.

В некоторых коллекторах рекомендованный расход жидкости может быть близким к переходной области между ламинарным и турбулентным течением. Это может вызвать нестабильность внутреннего коэффициента теплопередачи и ошибки в измерениях КПД коллектора. Для того чтобы проверить коллектор приведенным способом, может понадобиться больший расход, что должно быть четко сформулировано в отчете об испытаниях.

Перепады температуры жидкости меньше 1,5 К не следует включать в отчет испытаний из-за того, что они сравнимы с ошибкой в измерениях.

8.4 Методика испытаний

Для определения производительности коллектор должен быть испытан в рабочем диапазоне изменения температуры в условиях чистого неба. Измеренные значения, удовлетворяющие приведенным ниже условиям, должны быть получены не менее чем для четырех значений входной температуры жидкости, охватывающих рабочий диапазон изменений температуры коллектора. Для максимально точного определения η_0, если это возможно, одно из значений входной температуры должно соответствовать средней температуре жидкости в коллекторе, равной температуре окружающей среды ± 3 К. Если теплоносителем является вода, то максимальная температура должна быть около 70 °С.

Для каждой входной температуры жидкости должны быть проведены не менее четырех независимых измерений, для того чтобы общее число измеренных точек было равно 16. Если позволяют усло-

вия испытаний, то для каждой входной температуры жидкости должно быть получено равное число точек до и после солнечного полудня (не требуется, если коллекторы снабжены автоматической системой слежения за солнцем). Во время испытаний измерения проводят в соответствии с 8.5. В дальнейшем это может быть использовано для определения периодов испытаний, из которых потом могут быть получены удовлетворительные точки данных.

8.5 Измерения

Должны быть измерены следующие данные:
- общая площадь коллектора A_G, площадь ПП коллектора A_A, апертурная площадь коллектора A_a;
- объем жидкости;
- солнечное излучение на апертуру коллектора;
- рассеянное солнечное излучение на апертуру коллектора (только на открытом воздухе);
- угол падения прямого солнечного излучения (угол может быть определен расчетом);
- скорость воздушного потока, параллельного апертуре коллектора;
- температура окружающего воздуха;
- температура жидкости теплоносителя на входе коллектора;
- температура жидкости теплоносителя на выходе коллектора;
- расход теплоносителя.

8.6 Продолжительность испытаний (установившийся режим)

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

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

Считают, 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 1 величины. 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 1 — Разрешенное отклонение измеренных параметров в течение периода измерения

Параметр	Разрешенное отклонение от среднего значения
Проверочная солнечная радиация	± 50 Вт/м^2
Температура окружающего воздуха (внутренняя)	± 1 К
Температура окружающего воздуха (наружная)	± 1,5 К
Массовый расход жидкости	± 1 %
Температура жидкости во входном отверстии коллектора	± 0,1 К

8.7 Представление результатов

Измерения должны быть сопоставлены для выделения группы данных, удовлетворяющих требуемым условиям, включая установившийся режим работы. Измерения должны быть оформлены протоколом испытаний (см. приложение А).

8.8 Вычисление производительности коллектора

Мгновенное значение КПД коллектора η, работающего при установившемся режиме, определяют как отношение фактической извлеченной полезной мощности к солнечной энергии, принятой коллектором.

Фактическую извлеченную полезную мощность $\dot{Q}$ определяют по формуле

$$\dot{Q} = mc_f \Delta T. \quad (2)$$

Значение c_f должно соответствовать средней температуре жидкости. Если $\dot{m}$ получена на основе измерения объемного расхода, то плотность жидкости должна быть определена для температуры в расходомере.

8.8.1 Солнечная энергия, принимаемая коллектором

При угле падения меньше чем 30°, для отдельных остекленных плоских коллекторов использование углового коэффициента, как описано в 11, не требуется.

При определении производительности коллектора η_G принимаемая солнечная энергия равна $A_G G$, если рассматривают общую площадь коллектора

$$\eta_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G}. \quad (3)$$

При определении производительности коллектора η_A принимаемая солнечная энергия равна $A_a G$, если рассматривают площадь ПП коллектора, и в таком случае:

$$\eta_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G}. \quad (4)$$

8.8.2 Разность приведенных температур

Мгновенное значение КПД коллектора η должно быть представлено в графическом виде, как функция от разности приведенных температур T^*.

При использовании средней температуры жидкого теплоносителя t_m, где

$$t_m = t_{in} + \frac{\Delta T}{2}, \quad (5)$$

приведенную разность температур определяют по формуле

$$T_m^* = \frac{t_m - t_a}{G}. \quad (6)$$

Если использована температура на входе в коллектор, то приведенную разность температур вычисляют по формуле

$$T_i^* = \frac{t_{in} - t_a}{G}. \quad (7)$$

8.8.3 Графическое представление мгновенного КПД

Графическое представление мгновенного КПД η должно быть определено подбором статистических кривых с использованием метода наименьших квадратов для того, чтобы получить кривую мгновенного КПД по следующей формуле

$$\eta = \eta_0 - a_1 T_m^* - a_2 G (T^*)^2 \quad (8)$$

или

$$\eta = \eta_0 - U T^*. \quad (9)$$

Выбор между кривыми 1-го и 2-го порядка должен быть основан на точности подбора, которая достигается регрессией методом наименьших квадратов. Кривые 2-го порядка не используют, если значение a_2 отрицательно.

Для представления кривой 2-го порядка должны использовать значение G, равное 800 Вт/м^2. Условия испытаний должны быть оформлены протоколом испытаний (см. приложение А).

Точки данных, которые были измерены при условиях, когда диффузная солнечная радиация составляла более чем 20 % от полной солнечной радиации, должны быть скорректированы к условиям, эквивалентным нормальной радиации, используя метод, приведенных в приложении Б. Когда диффузная солнечная радиация составляет менее 20 %, ее влиянием можно пренебречь. Если угловой коэффициент коллектора не может быть определен точно, тогда не следует испытывать коллектор при уровнях диффузного излучения более 20 %.

Последующие разделы предоставляют выражения для мгновенного КПД в четырех случаях, рассматривающих комбинации площади коллектора (общая площадь коллектора, площадь ПП) и разности приведенных температур (T^*_m, T^*_i).

При определении коэффициентов, если необходимо, используют различные выражения (см. 8.8.3.1 и 8.8.3.2). Кривые должны иметь вид в соответствии с А.3.4—А.3.7 приложения А.

8.8.3.1 Мгновенный КПД при общей площади коллектора

Мгновенный КПД через приведенную разность температур T^*_m вычисляют по формулам:

$$\bar{\eta}_G = \bar{\eta}_{0G} - \bar{U}_G \frac{t_m - t_a}{G} \tag{10}$$

или

$$\bar{\eta}_G = \bar{\eta}_{0G} - \bar{a}_{1G} \frac{t_m - t_a}{G} - \bar{a}_{2G} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2, \tag{11}$$

где

$$\bar{\eta}_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G}. \tag{12}$$

Если используют приведенную разность температур T^*_I, мгновенный КПД вычисляют по формулам:

$$\eta_G = \eta_{0G} - U_G \frac{t_{in} - t_a}{G} \tag{13}$$

или

$$\eta_G = \eta_{0G} - a_{1G} \frac{t_{in} - t_a}{G} - a_{2G} G \left(\frac{t_{in} - t_a}{G} \right)^2, \tag{14}$$

где

$$\eta_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G}. \tag{15}$$

8.8.3.2 Мгновенный КПД при площади ПП

Мгновенный КПД через приведенную разность температур T^*_m вычисляют по формулам:

$$\bar{\eta}_A = \bar{\eta}_{0A} - \bar{U}_A \frac{t_m - t_a}{G} \tag{16}$$

или

$$\bar{\eta}_A = \bar{\eta}_{0A} - \bar{a}_{1A} \frac{t_m - t_a}{G} - \bar{a}_{2A} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2, \tag{17}$$

где

$$\bar{\eta}_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G}. \tag{18}$$

Если используют приведенную разность температур T^*_I, мгновенный КПД вычисляют по формулам:

$$\eta_A = \eta_{0A} - U_A \frac{t_{in} - t_a}{G} \tag{19}$$

или

$$\eta_A = \eta_{0A} - a_{1A} \frac{t_{in} - t_a}{G} - a_{2A} G \left(\frac{t_{in} - t_a}{G} \right)^2, \tag{20}$$

где

$$\eta_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G}. \tag{21}$$

8.8.4 Преобразование испытательных характеристик теплопроизводительности

Если предположить, что увеличение температуры через коллектор имеет линейный характер, то массовый расход m теплоносителя может быть использован для того, чтобы связать коэффициенты $\bar{\eta}_{0G}$ и $\bar{U}_{0G}$ выражения (10) с коэффициентами η_{0G} и U_G формулы (13). Тогда первая система уравнений будет иметь вид

$$\eta_{0G} = \bar{\eta}_{0G} \left[\frac{\zeta}{\zeta + \frac{\bar{U}_G}{2}} \right], \tag{22}$$

$$U_G = \bar{U}_{0G}\left[\frac{\zeta}{\zeta + \frac{\bar{U}_G}{2}}\right], \tag{23}$$

где

$$\zeta = \frac{\dot{m}c_f}{A_G}. \tag{24}$$

Вторая система уравнений будет иметь вид

$$\bar{\eta}_{0G} = \eta_{0G}\left[\frac{\zeta}{\zeta + \frac{U_G}{2}}\right], \tag{25}$$

$$\bar{U}_G = U_{0G}\left[\frac{\zeta}{\zeta + \frac{U_G}{2}}\right]. \tag{26}$$

Если выразить производительность через общую площадь коллектора и площадь ПП, получим

$$\bar{\eta}_A = \bar{\eta}_G \frac{A_G}{A_A}, \tag{27}$$

$$\eta_A = \eta_G \frac{A_G}{A_A}. \tag{28}$$

Используя эти выражения, получим следующее

$$\bar{\eta}_{0A} = \bar{\eta}_{0G} \frac{A_G}{A_A}, \tag{29}$$

$$U_A = \bar{U}_G \frac{A_G}{A_A}, \tag{30}$$

$$\bar{a}_{1A} = \bar{a}_{1G} \frac{A_G}{A_A}, \tag{31}$$

$$\bar{a}_{2A} = \bar{a}_{2G} \frac{A_G}{A_A}, \tag{32}$$

а также

$$\eta_{0A} = \eta_{0G} \frac{A_G}{A_A}, \tag{33}$$

$$U_A = U_G \frac{A_G}{A_A}, \tag{34}$$

$$a_{1A} = a_{1G} \frac{A_G}{A_A}, \tag{35}$$

$$a_{2A} = a_{2G} \frac{A_G}{A_A}. \tag{36}$$

9 Испытание на определение КПД в установившемся режиме с источником искусственного солнечного 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 источником искусственного солнеч-

ного излучения. Поэтому этот метод испытаний разработан для использования только в искусственных источниках, 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 радиации для испытания на определение КПД в установившемся режиме

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

Лампы должны создавать среднюю радиацию по апертуре коллектора не менее 800 Вт/м^2. Для специальных испытаний ее значения могут изменяться в диапазоне 300—1000 Вт/м^2 при условии выполнения требований к точности, приведенных в таблице 1, а значения излучения занесены в протокол испытания.

Среднее значение излучения по апертуре коллектора не должно меняться более чем на ± 50 Вт/м^2 в течение испытания.

В любое время радиация в любой точке апертуры коллектора не должна отличаться от средней радиации по апертуре более чем на ± 15 %.

Спектральное распределение искусственной солнечной радиации должно быть эквивалентно солнечному спектру при оптической массе воздуха 1,5 (см. приложение В).

Если коллекторы имеют ПП или покрытия, изменяющие солнечный спектр, необходимо установить влияние различий в спектре на эффективность коллектора $\tau\alpha$. Если эффективность $\tau\alpha$ при искусственном источнике и при оптической массе воздуха, равной 1,5, спектр (см. приложение В) солнечной радиации варьируется более чем на ± 1 %, то результаты испытаний должны быть скорректированы в соответствии с формулой

$$Effective(\tau\alpha) = \frac{\int_{0,3\mu m}^{3\mu m} \tau(\lambda)\alpha(\lambda)G(\lambda)d\lambda}{\int_{0,3\mu m}^{3\mu m} G(\lambda)d\lambda}.$$

Измерение спектральных свойств искусственного источника радиации должно быть проведено в плоскости коллектора при длине волны в диапазоне от 0,3 до 3 мкм и определено в полосе (частот) 0,1 мкм или меньше.

Для некоторых типов ламп, например для металлогалогеновых ламп, рекомендуется выполнять определение начального спектра после того, как лампы прошли отбраковочные испытания. Количество инфракрасной тепловой энергии на плоскости коллектора должно быть измерено (не более 4 мкм) и запротоколировано (см. 6.2).

Тепловая радиация на коллекторе не должна превышать радиацию абсолютно черного тела при температуре окружающей среды больше, чем на 50 Вт/м^2.

Коллимация искусственного источника должна быть такой, чтобы углы падения, не менее 80 % радиации искусственного источника, лежали 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 меньше, с любой точки.

Примечание — Дополнительные требования относительно коллимации[1)] применяют для измерения углового коэффициента (см. 11.2).

Излучение должно контролироваться в течение всего испытания и не варьироваться более чем на ± 3 %.

Метод, используемый для измерения радиации в течение испытания, должен выдавать значения средней радиации, которые согласованы с теми значениями, которые определены пространственной интеграцией в пределах ± 1 %.

[1)] Коллимация — инструментальная ошибка в установке оптических приборов вследствие отклонения от перпендикулярности оси вращения трубы к ее оптической оси.

9.3 Испытательная установка

При монтаже и выборе места установки коллектора необходимо следовать требованиям, выделенным в разделе 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 (45 ± 5)°, или таким, как рекомендует производитель. Нестандартные углы наклона требуют ряд симуляционных данных, которые обеспечат свободу наклона при нормальном излучении.

Совместно с искусственным солнечным источником должен быть использован вентилятор, для того чтобы произвести поток воздуха в соответствии с 5.8.

9.4 Предварительная подготовка коллектора

Необходимо следовать методике, описанной в 8.2.

9.5 Методика испытаний

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

Однако восемь пунктов испытаний с искусственным источником будут соответствовать наружным испытаниям, если используют четыре различных значения входной температуры и выдерживают время для стабилизации температуры. Одно значение входной температуры должно лежать в пределах ± 3 К от температуры окружающего воздуха. В течение испытания измерения должны быть сделаны так, как определено в 9.6. В дальнейшем это может быть использовано для определения периодов испытаний, из которых в дальнейшем могут быть получены удовлетворительные точки данных.

9.6 Измерения при испытаниях с источниками искусственного солнечного излучения

Измерения должны быть проведены в соответствии с разделом 8.

9.6.1 Измерение солнечной радиации искусственного источника

Рекомендуется использовать пиранометры для измерения радиации искусственного источника в соответствии с 6.1 Также могут быть использованы другие типы детекторов излучения, если они откалиброваны для искусственного источника радиации. Детали инструментов и методов, используемых для их калибровки, следует сообщать вместе с результатами проверки. Распределение излучения по апертуре коллектора должно быть измерено, используя сетку с максимальным шагом в 150 мм и пространственную среднюю величину, выведенную простым усреднением.

Примечание — Радиация искусственного источника 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.

9.6.2 Измерение тепловой радиации в искусственном источнике радиации

Тепловая радиация в искусственном источнике радиации, вероятно, будет выше, чем та, которая обычно встречается на открытом воздухе. Поэтому она должна быть измерена, для того чтобы гарантировать, что тепловая радиация не превышает предельных значений, данных в 9.8.

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

9.6.3 Температура воздуха, окружающего искусственный источник радиации

Особое внимание должно быть уделено температуре воздуха t_a, окружающего искусственный источник радиации. Она должна быть измерена в нескольких точках. Датчики должны быть экранированы, для того чтобы минимизировать тепловой обмен. Температура воздуха на выходе вентилятора будет использована для расчетов работы коллектора.

9.7 Длительность испытаний

Длительность испытаний определяют таким же образом, как при проведении испытания на открытом воздухе.

В закрытом помещении установившейся режим для испытаний обеспечивать легче, чем на открытом воздухе, но для стабилизации режима испытуемого коллектора все же требуется достаточное время, что и рассмотрено в 8.6.

9.8 Условия проведения испытаний

Должны быть соблюдены условия, описанные в 8.3 для испытания на открытом воздухе, со следующими дополнениями:

- тепловая радиация на плоскости апертуры коллектора не должна превышать аналогичного значения для абсолютно черного тела при температуре окружающего воздуха более чем ± 50 Вт/м^2;
- температура воздуха, выходящего из вентилятора, не должна отличаться от температуры окружающего воздуха более чем на ± 1 К.

9.9 Обработка и представление результатов

Результаты, аналогичные приведенным в 8.8 для наружного испытания, должны быть представлены на листах, формат которых приведен в приложении 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 рассматривают как сумму 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. Другой метод, который требует только традиционные средства испытания, не использует производные по времени (которые, по своей природе, трудно получить точно) и дает воспроизводимые результаты, которые предоставлены в приложении Е.

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), являющуюся произведением их массы m_i, кг, теплоемкости c_i, Дж/кг · К, и весового коэффициента p_i, по следующей формуле

$$C = \sum_i p_i m_i c_i .$$

Весовой коэффициент $p_i \in \{0,1\}$ учитывает тот факт, что определенные элементы только частично вовлечены в процесс тепловой инерции коллектора. Значения p_i приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Значения весовых коэффициентов

Элементы	p_i
Поглощающая панель	1
Изоляция	0,5
Жидкость теплоносителя	1
Внешнее остекление	0,01 a_1

Окончание таблицы 2

Элементы	p_i
Второе остекление	0,2 a_1
Третье остекление	0,35 a_1
Примечание — a_1 указывает второй параметр в выражении мгновенного КПД или коэффициент тепловых потерь. Когда его значение точно не известно, можно воспользоваться следующими аппроксимационными значениями, чтобы определить p_i: - 7,5 (одинарное остекление); - 4 (двойное остекление); - 2,5 (тройное остекление).	

Эффективная теплоемкость может также быть измерена, применяя методики, описанные в приложении Д.

10.3 Методика испытаний постоянной времени коллектора

Испытание должно быть выполнено на открытом воздухе или с искусственным источником солнечной радиации. Солнечная радиация на плоскости апертуры коллектора должна быть более чем 800 Вт/м^2. Жидкость теплоносителя должна проходить через коллектор с такой 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 равной 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 меньше, чем на 0,05 К/мин. 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 входе 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 $(t_e - t_a)_2$ (см. рисунок 4).

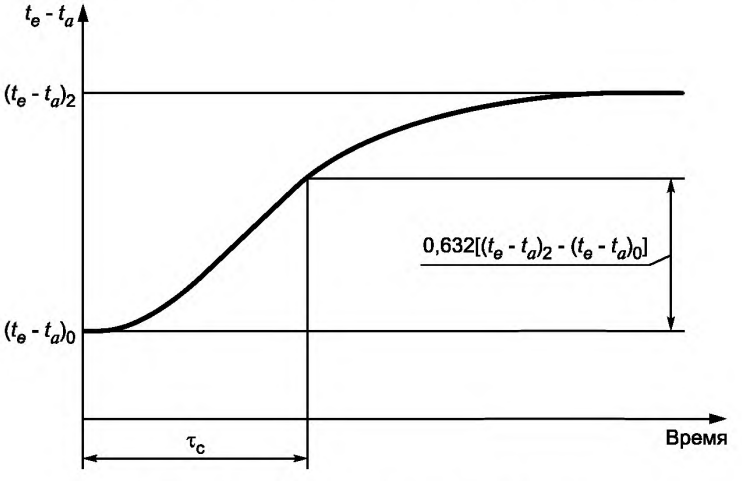


Рисунок 4 — Постоянная времени коллектора

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 итого-

вого 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 Угловой коэффициент коллектора

11.1 Общие положения

Значение эффективного произведения коэффициента поглощения и коэффициента пропускания $(\tau\alpha)_e$ может быть заменено значением эффективного произведения коэффициента поглощения и коэффициента пропускания для прямой солнечной радиации при вертикальном падении $(\tau\alpha)_{en}$ при условии, что в уравнение введен другой коэффициент, названный угловым коэффициентом K_θ

$$\bar{\eta}_G = F' K_\theta (\tau\alpha)_{en} - \bar{U}_G \frac{t_m - t_a}{G}. \quad (37)$$

Таким образом, для плоского коллектора

$$(\tau\alpha)_e = K_\theta (\tau\alpha)_{en}. \quad (38)$$

Рисунок 5 показывает изменение K_θ от угла падения для двух солнечных коллекторов.

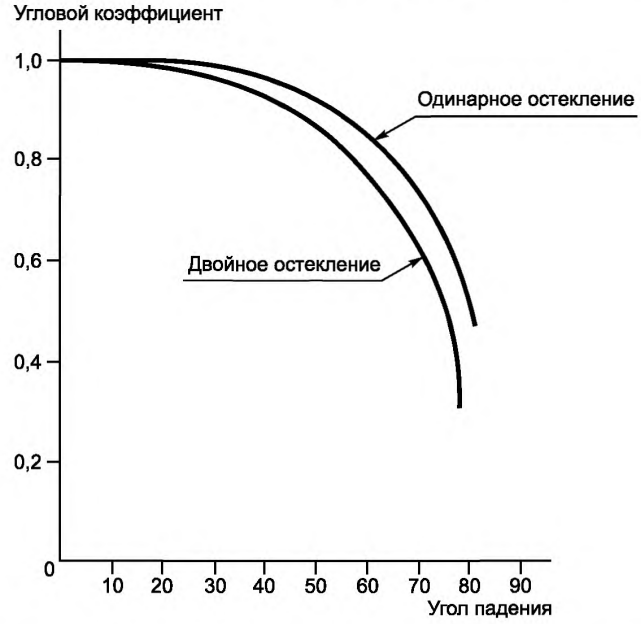


Рисунок 5 — Типовые зависимости коэффициента K_θ от угла падения

Применительно к методике испытаний смысл K_θ состоит в том, что значения эффективной теплоемкости определяют для коллекторов с вертикальным или почти вертикальным падением солнечного излучения. Поэтому для плоских коллекторов точка пересечения кривой КПД с осью ординат равна $F'(\tau\alpha)_{en}$. Для определения значения K_θ, обеспечивающего работу коллектора в широком диапазоне условий и/или времени дня, нужно провести дополнительное испытание и использовать уравнение (34).

Примечание — Уравнения, приведенные в данном подразделе, представлены в единицах t_m и A_G. Они также могут быть представлены, используя единицы e_{in} и/или A_A. Метод для перевода из одной формы в другую предоставлен в 8.8.4.

11.2 Измерение углового коэффициента в условиях искусственного источника радиации

Для измерения K_θ можно использовать только искусственные источники радиации.

Коллимация должна быть такой, чтобы не менее 90 % искусственной радиации в любой точке коллектора поступало с углом падения в 20° или менее.

11.3 Методика испытаний

Испытание солнечного коллектора для определения углового коэффициента может быть сделано 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 проводят проверку.

Для коллекторов (например, вакуумных трубчатых), для которых воздействие угла падения не симметрично с направлением падения, необходимо измерить влияние углового коэффициента для более чем одного направления, что указано в приложении Е.

11.3.1 Метод 1

Этот метод применим для испытаний в закрытом помещении с использованием искусственного источника с характеристиками, определенными в 9.2, 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.

Среднюю температуру жидкости теплоносителя необходимо контролировать настолько тщательно, насколько возможно (предпочтительно в пределах ± 1 К к окружающей температуре). Четыре отдельных значения КПД должно быть определено в соответствии с 8.4.

11.3.2 Метод 2

Этот метод применим для испытаний на открытом воздухе, используя стационарный испытательный стенд, на котором ориентация коллектора относительно направления падающей солнечной радиации не регулируется (за исключением корректировки наклона).

Среднюю температуру жидкости теплоносителя необходимо контролировать в пределах ± 1 К от окружающей температуры. Значение эффективности должно быть определено таким способом, чтобы одно значение эффективности было взято перед солнечным полуднем, а другое — после солнечного полудня. Средний угол падения между коллектором и солнечным лучом для обоих измерений необходимо сохранять постоянным. Эффективность коллектора для определенного угла падения будет определена как среднеарифметическое двух значений.

Значение эффективности должно быть определено в соответствии с методом, описанным в 8.4. 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.

Примечание — Требуется больше опыта, чтобы подтвердить, что данный метод применим для коллекторов специальных геометрий, таких как вакуумные трубчатые коллекторы.

11.4 Расчет углового коэффициента коллектора

Независимо от метода испытаний (см. 11.3) значения теплового КПД коллектора должны быть определены для каждого значения угла падения. Для обычных плоских коллекторов испытания достаточно провести для углов падения 0°, 30°, 45°и 60° (необходимо отметить, что стандарт, использующий этот метод испытаний, может требовать, чтобы K_θ был измерен для различных значений угла падения). Среднюю температуру жидкости необходимо поддерживать близкой к температуре окружающей воздушной среды, чтобы $(t_m - t_a) \approx 0$.

Соотношение между K_θ и КПД выглядит следующим образом:

$$K_\theta = \frac{\eta_G}{F_R(\tau\alpha)_{en}}. \quad (39)$$

Когда $F'(\tau\alpha)_{en}$ будет получен, как точка пересечения кривой КПД с осью ординат, то значения K_θ могут быть вычислены для различных углов падения (см. 11.3). Если средняя температура жидкости не может быть поддержана на уровне температуры окружающей среды с точностью ± 1 К, расчет U_L должен быть сделан для условий испытания, и каждое значение K_θ должно быть вычислено как

$$K_\theta = \frac{\eta_G + F_R\left(\frac{t_{in} - t_a}{G}\right)}{F_R(\tau\alpha)_{en}}. \quad (40)$$

В другом случае каждая точка данных может быть отображена на графике с кривой КПД, определенной в соответствии с разделами 8 и 9, и кривой, проведенной через каждую точку, параллельно кривой КПД, до пересечения с осью *y*. Значения на пересечении с *y* являются значениями КПД, которые были получены при контролировании температуры жидкости на входе равной температуре окружающего воздуха. Поэтому эти значения могут быть использованы вместе с уравнением (40) для того, чтобы вычислить различные значения K_{θ}.

12 Определение перепада давления поперек коллектора

12.1 Общие положения

Перепад давления поперек коллектора может быть важным для проектировщиков систем солнечных коллекторов. Жидкость, обычно применяемая для данного вида коллектора, должна быть использована и для испытания.

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

12.2 Испытательная установка

Коллектор должен быть укреплен согласно требованиям раздела 5 и соединен с испытательным контуром, который соответствует разделу 7, хотя требуется меньше аппаратуры для определения перепада давления, чем для испытания КПД коллектора.

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.

12.3 Подготовка коллектора

Жидкость должна быть проверена в целях гарантии ее чистоты.

Коллектор должен быть вентилируем воздухом посредством воздушного выпускного клапана или других подходящих способов, таких как увеличение расхода жидкости в течение короткого периода, для того чтобы убрать воздух из коллектора.

12.4 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 сделаны по диапазону расходов от 0,005 до 0,03 кг/с на 1 $м^2$ площади коллектора.

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

12.5 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.

12.6 Перепад давления, вызванный фитингами

Гарнитура, используемая для измерения давления жидкости, может сама служить причиной перепада давления. Нулевая проверка при перепаде давления должна быть сделана следующим образом: следует убрать коллектор из жидкого контура и повторить испытания с измеряющими давление устройствами, непосредственно связанными вместе.

12.7 Условия испытаний

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

Во время испытаний температура теплоносителя на входе должна быть постоянной (может изменяться в пределах ± 5 °С). Испытание необходимо проводить 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.

12.8 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$(м^{-2} \cdot К^{-1})$;
a_2	зависимость коэффициента тепловых потерь от температуры,	Вт$(м^{-2} \cdot К^{-2})$;
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$(м^{-2} \cdot К^{-1})$;
b_2	коэффициент полезного действия (КПД) коллектора,	Вт$(см^{-3} \cdot К^{-1})$;
c_1	коэффициент тепловых потерь коллектора при $(T_m - T_a) = 0$,	Вт$(м^{-2} \cdot К^{-1})$;
c_2	зависимость коэффициента тепловых потерь от температуры,	Вт$(м^{-2} \cdot К^{-2})$;
c_3	зависимость коэффициента тепловых потерь от скорости ветра,	Дж$(м^{-3} \cdot К^{-1})$;
c_4	зависимость коэффициента тепловых потерь от температуры неба,	Вт$(м^{-2} \cdot К^{-1})$;
c_5	эффективная теплоемкость,	Дж$(м^{-2} \cdot К^{-1})$;
c_6	зависимость КПД от скорости ветра при нулевых потерях,	$см^{-1}$;
c_f	удельная теплоемкость теплоносителя,	Дж$(кг^{-1} \cdot К^{-1})$;
C	эффективная теплоемкость коллектора,	$ДжК^{-1}$;
D	дата,	г., мес., число;
E_L	длинноволновое излучение ($\lambda > 3$ 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^*	суммарная полусферическое солнечное излучение,	$Вт/м^{-2}$;
G''	полезное излучение,	$Вт/м^{-2}$;
G_b	прямая солнечная радиация,	$Вт/м^{-2}$;
G_d	рассеянная (диффузная) солнечная радиация,	$Вт/м^{-2}$;
LT	местное время,	ч;
K_θ	*угловой коэффициент;*	
$K_{\theta b}$	*угловой коэффициент* для прямой радиации;	
$K_{\theta d}$	*угловой коэффициент* для диффузной радиации;	

m	массовый расход жидкого теплоносителя,	кг/с$^{-1}$;
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 излучения в атмосфере,	°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 · К/Вт$^{-1}$;
T_s	температура атмосферы или эквивалентная температура излучения в атмосфере,	К;
U	измеренный коэффициент полных тепловых потерь коллектора, отнесенный к T^*_m,	Вт(м$^{-2}$ · К$^{-1}$);
U_L	коэффициент полных тепловых потерь коллектора с постоянной температурой ПП t_m,	Вт(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_o	эффективность коллектора (КПД) при нулевых потерях (η при $T^*_m = 0$), по отношению к T^*_m;	
σ	постоянная Стефана-Больцмана,	Вт(м$^{-2}$ · К$^{-4}$);
ρ	плотность жидкости теплоносителя,	кг/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 солнечного коллектора
№:……

Испытания проведены……
Адрес……
Дата……Тел……Факс……Телекс……

А.2 Описание солнечного коллектора

А.2.1 Название производителя и модель солнечного коллектора……

А.2.2 Солнечный коллектор

Тип: Плоский ☐ Вакуумный трубчатый ☐ Другой ☐

Общая площадь. . . . . м^2.
Площадь апертур . . . . . м^2.
Площадь ПП . . . . . м^2.
Число покрытий . . . . .
Материал покрытия. . . . . .
Толщина покрытия. . . . . мм.
Число труб или каналов . . . . . .
Диаметр трубы или размеры канала . . . . . мм.
Шаг трубы или канала. . . . . мм.

А.2.3 Теплоноситель

Тип: Вода ☐ Масло ☐ Другой ☐

Указания (дополнения и т. д.) . . . . . .
Альтернативный теплоноситель . . . . . .

А.2.4 Абсорбер

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

А.2.5 Теплоизоляция и обшивка

Толщина теплоизоляции . . . . . мм.
Материал изоляции . . . . . .
Материал обшивки . . . . . .
Полная масса коллектора без жидкости . . . . . мм.
Габаритные размеры . . . . . мм.
Размеры апертуры . . . . . мм.
Материал уплотнителя . . . . . .

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.2.10 Схематический чертеж монтажа коллектора (при необходимости прикрепить отдельную страницу)

Сообщить любые особенности монтажа

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 Результаты испытания, измеренные и полученные данные

Широта…… Долгота……
Наклон коллектора……° Азимут коллектора…….
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

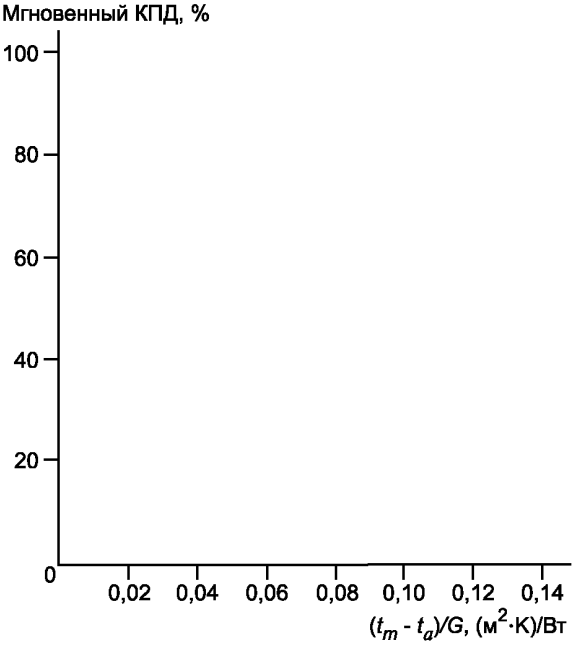
Примечание — Сообщить о любой высокой температуре при предварительной обработке или процедурах измерения искусственного солнечного излучения.

А.3.4 Кривая мгновенного КПД, основанная на полной площади и средней температуре теплоносителя

А.3.4.1 Линейная аппроксимация данных

Мгновенное КПД, определенное по $\overline{\eta}_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G}$.

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



Линейная аппроксимация данных: $\overline{\eta}_G = \overline{\eta}_{0G} - \overline{U}_G \frac{t_m - t_a}{G}$

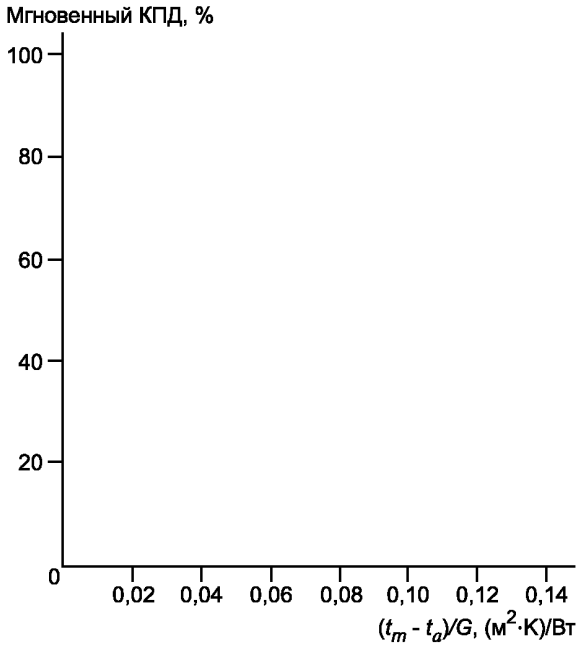
$\overline{\eta}_{0G}$ = ...

$\overline{U}_G$ = ... Вт/(м^2·К)

А.3.4.2 Аппроксимация данных 2-го порядка

Мгновенное КПД, определенное по $\bar{\eta}_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G}$.

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



Аппроксимация данных 2-го порядка: $\bar{\eta}_G = \bar{\eta}_{0G} - \bar{a}_{1G}\frac{t_m - t_a}{G} - \bar{a}_{2G}G\left(\frac{t_m - t_a}{G}\right)^2$

$\bar{\eta}_{0G}$ = ...
$\bar{a}_{1G}$= . . . . . Вт/(м^2 · К).
$\bar{a}_{2G}$= . . . . . Вт/(м^2 · К).

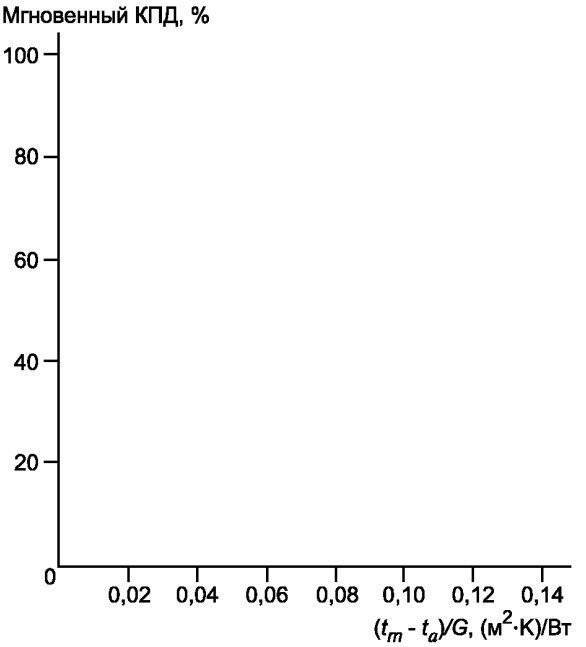
Примечание — Значение G, используемое для аппроксимации 2-го порядка, равно 800 В/м^2.

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

А.3.5.1 Линейная аппроксимация данных

Мгновенное КПД, определенное по $\bar{\eta}_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G}$.

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



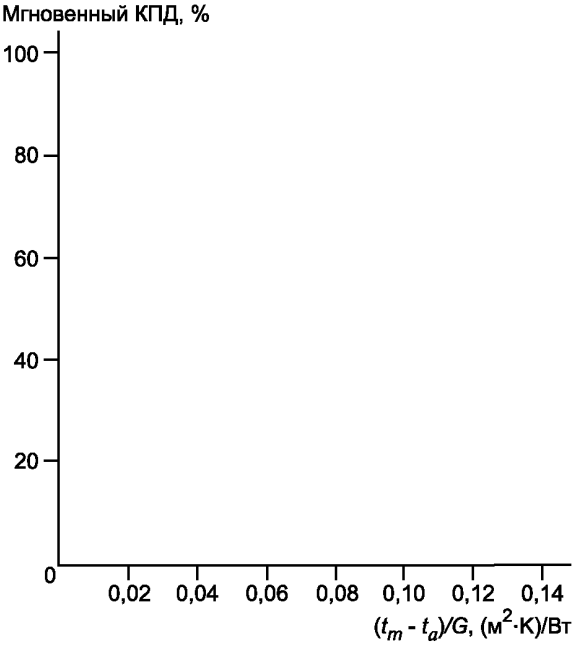
Линейная аппроксимация данных: $\eta_G = \eta_{0G} - U_G \frac{t_{in} - t_a}{G}$

η_{0G} . . . . . .
U_G . . . . . Вт/(м^2 · К).

А.3.5.2 Аппроксимация данных 2-го порядка

Мгновенное КПД, определенное по $\overline{\eta}_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G}$.

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



Аппроксимация данных 2-го порядка: $\eta_G = \eta_{0G} - a_{1G} \frac{t_{in} - t_a}{G} - a_{2G} G \left(\frac{t_{in} - t_a}{G} \right)^2$

η_{0G} = ...
a_{1G}= . . . . . Вт/(м^2 · К).
a_{2G}= . . . . . Вт/(м^2 · К).

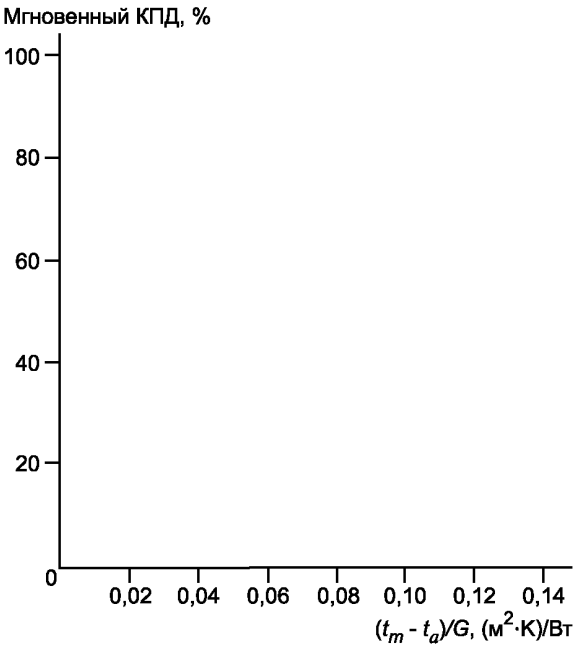
Примечание — Значение *G*, используемое для аппроксимации 2-го порядка, равно 800 В/м^2.

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

А.3.6.1 Линейная аппроксимация данных

Мгновенное КПД, определенное по $\overline{\eta}_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G}$.

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



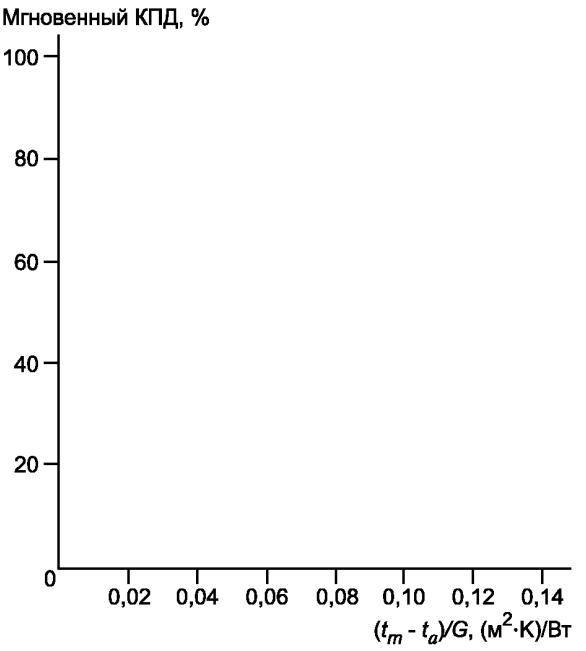
Линейная аппроксимация данных: $\overline{\eta}_A = \overline{\eta}_{0A} - \overline{U}_A \frac{t_m - t_a}{G}$

$\overline{\eta}_{0A}$ = ...
$\overline{U}_A$= . . . . . Вт/(м^2 · К).

А.3.6.2 Аппроксимация данных второго порядка

Мгновенное КПД, определенное по $\overline{\eta}_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G}$.

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



Аппроксимация данных 2-го порядка: $\overline{\eta}_A = \overline{\eta}_{0A} - \overline{a}_{1A}\frac{t_m - t_a}{G} - \overline{a}_{2A}G\left(\frac{t_m - t_a}{G}\right)^2$

$\overline{\eta}_{0A}$ = ...

$\overline{a}_{1A}$ = ... Вт/(м^2 · К).

$\overline{a}_{2A}$ = ... Вт/(м^2 · К).

Примечание — Значение G, используемое для аппроксимации 2-го порядка, равно 800 В/м^2.

А.3.7 Кривая мгновенного КПД, основанная на площади металлической поглощающей поверхности и температуре на входе в коллектор

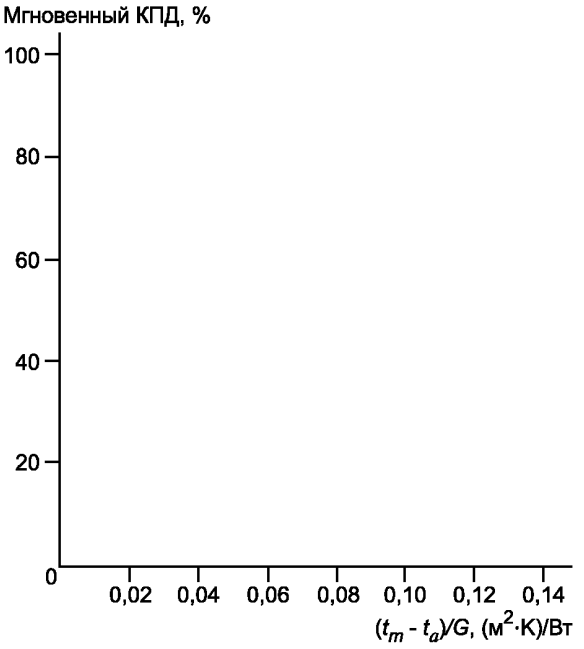
А.3.7.1 Линейная аппроксимация данных

Мгновенное КПД, определенное по $\overline{\eta}_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G}$.

Площадь ПП , используемая для кривой . . . . . м^2.

Расход жидкости, используемый во время испытания. . . . . кг/с.

Полная площадь коллектора . . . . . м^2.



Линейная аппроксимация данных: $\eta_A = \eta_{0A} - U_A \frac{t_{in} - t_a}{G}$

$\overline{\eta}_{0A}$ = ...

U_A= . . . . . Вт/(м^2 · К).

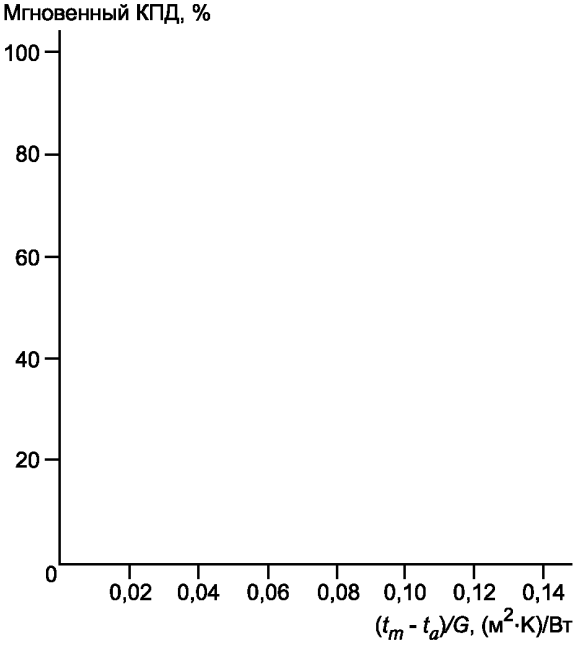
А.3.7.2 Аппроксимация данных 2-го порядка

Мгновенное КПД, определенное по $\overline{\eta}_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G}$.

Площадь ПП , используемая для кривой . . . . . м^2.

Расход жидкости, используемый во время испытания. . . . . кг/с.

Полная площадь коллектора . . . . . м^2.



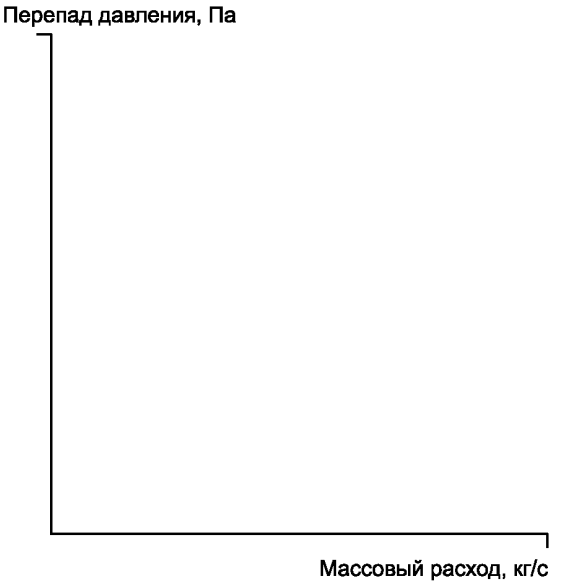
Аппроксимация данных 2-го порядка: $\eta_A = \eta_{0A} - a_{1A} \frac{t_{in} - t_a}{G} - a_{2A} G \left(\frac{t_{in} - t_a}{G} \right)^2$

$\bar{\eta}_{0A}$ = ...
a_{1A} = ... Вт/(м^2 · К).
a_{2A} = ... Вт/(м^2 · К).

Примечание — Значение G, используемое для аппроксимации 2-го порядка, равно 800 В/м^2.

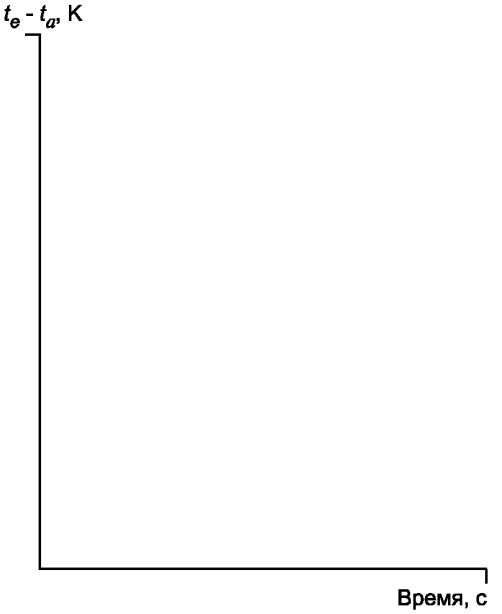
А.4 Перепад давления

Жидкость . . . . . .
Температура. . . . . °С.



А.5 Постоянная времени

τ_c …….. с



А.6 Эффективная теплоемкость

С……..Дж/К. Определение: вычисление……;
внутри помещения……..;
на открытом воздухе……..;

Примечание — Эффективную теплоемкость рассчитывают исходя из измерений t_{in}, ΔT, t_a с помощью следующего выражения для испытаний внутри помещения:

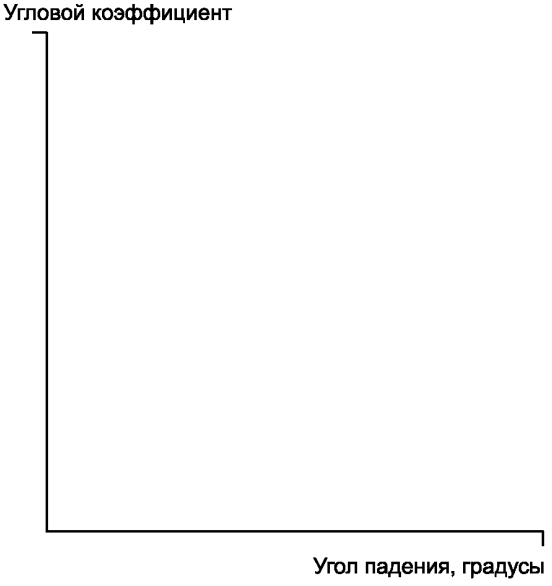
$$C = \frac{-\dot{m}c_f \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt - A_G \bar{U}_G \left[\int_{t_1}^{t_2} (t_{in} - t_a) dt + \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt \right]}{t_{m2} - t_{m1}}$$

или из измерений t_{in}, ΔT, t_a, G с помощью следующего выражения для испытаний на открытом воздухе

$$C = \frac{A_G \bar{\eta}_{0G} \int_{t_1}^{t_2} G dt - \dot{m}c_f \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt - A_G \bar{U}_G \left[\int_{t_1}^{t_2} (t_{in} - t_a) dt + \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt \right]}{t_{m2} - t_{m1}}.$$

А.7 Угловой коэффициент

Угол	0°	30°	45°	60°	70°
K_θ					



Приложение Б
(справочное)

Характеристики солнечного коллектора

Б.1 Общее

Тепловая характеристика плоского солнечного коллектора, работающего в установившихся условиях, может быть выражена и как функция от среднего значения температуры теплоносителя t_m, и как функция температуры на входе в коллектор t_{in}. Более того, общая площадь коллектора или площадь ПП может быть использована в качестве относительной площади для теплопроизводительности коллектора.

Б.1.1 Базовые выражения, использующие среднюю температуру коллектора

Тепловая характеристика плоского коллектора, работающего в установившихся условиях, как функция от среднего значения температуры t_m и общей площади коллектора A_G может быть описана следующим отношением:

$$\frac{\dot{Q}}{A_G} = F'(\tau\alpha)_e G - F'U_L (t_m - t_a) \tag{Б.1}$$

или может быть выражена через единицы измеренных параметров

$$\frac{\dot{Q}}{A_G} = \dot{m}c_f \frac{t_e - t_{in}}{A_G}. \tag{Б.2}$$

Таким образом, теплопроизводительность можно представить в виде следующего выражения:

$$\overline{\eta}_G - \frac{\dot{Q}}{A_G} = F'(\tau\alpha)_e G - F'U_L \frac{(t_m - t_a)}{G} = \dot{m}c_f \frac{t_e - t_{in}}{A_G G}. \tag{Б.3}$$

Выражение Б.3 отображает, что если КПД для солнечного коллектора нанести графически по отношению к $(t_m - t_a)/G$, тогда получится прямая линия, говорящая о том, что U_L — константа. Наклон этой линии будет равно $F'U_L$ и пересечение с осью y — $F'(\tau\alpha)_e$.

В действительности U_L не постоянна, но является функцией температуры ПП и окружающих погодных условий. Хотя выражение (Б.3) может быть достаточным для большинства солнечных коллекторов, некоторые коллектора могут потребовать использования уравнений более высокого порядка, чтобы объяснить данные эффекты. Было выдвинуто предложение, чтобы изменчивость U_L лучше представлять линейным отношением, приведенным к $(t_m - t_a)$. Таким образом получаем

$$F'U_L = b + c(t_m - t_a), \tag{Б.4}$$

где b и c — коэффициенты, уравнение (Б.1) становится

$$\frac{\dot{Q}}{A_G} = F'(\tau\alpha)_e G - b(t_m - t_a) - c(t_m - t_a)^2 \tag{Б.5}$$

или в единицах КПД

$$\overline{\eta}_G = F'(\tau\alpha)_e - b\frac{(t_m - t_a)}{G} - c\frac{(t_m - t_a)^2}{G}. \tag{Б.6}$$

В случае уравнения (Б.6), если значения КПД нанести графически относительно $(t_m - t_a)/G$, получится кривая 2-го порядка. Уравнения (Б.3) и (Б.6) записывают опять в форме совместимой с символами, приведенными в А.1.

Относительно t_m и A_G выражения для мгновенного теплового КПД

$$\overline{\eta}_G = F'(\tau\alpha)_e G - F'U_L \frac{(t_m - t_a)}{G} \tag{Б.7}$$

или

$$\overline{\eta}_G = F'(\tau\alpha)_e - \overline{a}_{1G}\frac{(t_m - t_a)}{G} - \overline{a}_{2G}G\left(\frac{t_m - t_a}{G}\right)^2. \tag{Б.8}$$

Относительно среднего значения температуры теплоносителя t_m и площади ПП A_A, уравнения для мгновенного теплового КПД могут быть легко выражены из уравнений (Б.7) и (Б.8) при условии, что

$$\overline{\eta}_A = \overline{\eta}_G \frac{A_G}{A_A}. \tag{Б.9}$$

Б.1.2 Базовые выражения, использующие температуру на входе в коллектор

Тепловая характеристика плоского коллектора, работающего в установившихся условиях как функция от температуры на входе в коллектор t_{in} и общей площади коллектора A_G, может быть описана следующим отношением:

$$\frac{\dot{Q}}{A_G} = F_R(\tau\alpha)_e G - F_R U_L (t_{in} - t_a) \quad (Б.10)$$

или выраженной через единицы измеренных параметров, приведенных в (Б.2)

$$\frac{\dot{Q}}{A_G} = \dot{m}c_f \frac{t_e - t_{in}}{A_G}.$$

Таким образом, теплопроизводительность может быть представлена выражением

$$\eta_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G} = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L \frac{t_{in} - t_a}{G} = \dot{m}c_f \frac{t_e - t_{in}}{A_G G}. \quad (Б.11)$$

Выражение (Б.11) отображает, что если КПД для солнечного коллектора нанести графически по отношению к $(t_{in} - t_a)/G$, тогда получится прямая линия, говорящая о том, что U_L — константа. Наклон этой линии будет равен $F_R U_L$, и пересечение с осью y — $F_R(\tau\alpha)_e$.

Как было отмечено в Б.1.1, U_L не постоянна, но является функцией температуры ПП и окружающих погодных условий. Методика, соответствующая той, что использована в Б.1.1, помогает выразить мгновенный КПД η_G с уравнением 2-го порядка.

Относительно t_{in} и A_G выражения для мгновенного теплового КПД:

$$\eta_G = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L \frac{t_{in} - t_a}{G} \quad (Б.12)$$

и

$$\eta_G = F_R(\tau\alpha)_e - a_{1G} \frac{t_{in} - t_a}{G} - a_{2G} G \left(\frac{t_{in} - t_a}{G} \right)^2. \quad (Б.13)$$

Относительно температуры на входе в коллектор t_m и площади ПП A_A, уравнения для мгновенного теплового КПД могут быть легко выражены из уравнений (Б.12) и (Б.13) при условии, что

$$\eta_A = \eta_G \frac{A_G}{A_A}. \quad (Б.14)$$

Б.1.3 Преобразование данных испытания тепловой характеристики

Мгновенный тепловой КПД коллектора, в единицах средней температуры коллектора t_m и общей площади коллектора A_G в линейном виде, описан в виде уравнения (Б.7).

В единицах температуры на входе коллектора t_{in} и общей площади коллектора A_G в соответствующем линейном виде описан уравнением (Б.12) для мгновенного КПД.

Если расход теплоносителя m известен, тогда, предполагая, что температура жидкости, проходящей через коллектор, увеличивается линейно, то пересечение с осью y $F_R(\tau\alpha)_e$ наклон $F_R U_L$ уравнения (Б.12) относится к соответствующим значениям $F'U_L$ и $F'(\tau\alpha)_e$ уравнения (Б.7) следующим образом:

$$F_R(\tau\alpha)_e = F'(\tau\alpha)_e \left[\frac{\zeta}{\zeta + \frac{F'U_L}{2}} \right], \quad (Б.15)$$

$$F_R U_L = F'U_L \left[\frac{\zeta}{\zeta + \frac{F'U_L}{2}} \right], \quad (Б.16)$$

где

$$\zeta = \frac{\dot{m}c_f}{A_G}.$$

Выражения (Б.15) и (Б.16) могут быть использованы, для того чтобы преобразовать один набор характеристик в другой.

Б.2 Постоянная времени коллектора

Пример основного уравнения плоского солнечного коллектора при переходном процессе

$$C\frac{dt_m}{A_G dt} = F'G(\tau\alpha)_e - F'U_L(t_m - t_a) - \frac{\dot{m}c_f}{A_G}(t_e - t_{in}). \quad (Б.17)$$

Если солнечное излучение G или температура жидкости на входе в коллектор t_{in} внезапно изменятся, а затем станут постоянными и если $(\tau\alpha)_e$, U_L, t_a, m и c_f могут считаться постоянными в период переходного процесса и степень изменения температуры теплоносителя на выходе со временем относиться к степени изменения средней температуры теплоносителя со временем, тогда

$$\frac{dt_m}{dt} = K\frac{dt_e}{dt}, \quad (Б.18)$$

где

$$K = \left(\frac{\dot{m}c_f}{F'U_L A_G}\right)\left(\frac{F'}{F_R} - 1\right),$$

уравнение (Б.17) может быть решено для того, чтобы получить зависимость температуры теплоносителя на выходе от времени

$$\frac{F'G(\tau\alpha)_e - F'U_L(t_m - t_a) - \frac{\dot{m}c_f}{A_G}(t_{e,t} - t_{in})}{F'G(\tau\alpha)_e - F'U_L(t_m - t_a) - \frac{\dot{m}c_f}{A_G}(t_{e,initial} - t_{in})} = e^{\left(-\frac{\dot{m}c_f}{KC}t\right)}. \quad (Б.19)$$

Величина $KC/\dot{m}c_f$ является постоянной времени.

Примечание — Выражения, приведенные в настоящем подразделе, выражены в единицах t_m и A_G. Они могут быть представлены через t_{in} и/или A_G. Методы для преобразования из одних единиц в другие предоставлены в Б.1.

Б.3 Диффузная (рассеянная) радиация

Влияние рассеянного излучения на КПД коллектора зависит от типа покрытия коллектора и его пропускных характеристик. Значение коэффициента пропускания рассеянной радиации ниже, чем для прямой солнечной радиации в большинстве коллекторов, и поэтому КПД коллектора уменьшается с увеличением диффузного излучения.

Б.4 Воздействие угла падения

Коэффициент пропускания покрытия плоского коллектора уменьшается, когда угол падения (угол между падающим лучом и перпендикулярной ему поверхностью) увеличивается. Данный эффект, являющийся результатом оптических свойств материала покрытия коллектора, может быть усилен при затенении ПП при малых углах падения и, как следствие, является результатом уменьшения КПД коллектора при увеличении углов падения.

Б.5 Эквивалентное нормальное солнечное излучение

Для целей моделирования систем солнечного теплоснабжения, характеристику коллектора часто представляют в виде

$$\dot{Q} = A_G\left[\bar{\eta}_{ob}K_\theta G_b + \bar{\eta}_{od}G_d - \bar{U}(t_m - t_a)\right], \quad (Б.20)$$

где η_{ob} и η_{od} — значения $F'(\tau\alpha)_e$ для прямого и диффузного солнечного излучения соответственно, и прямое излучение G_b и диффузное излучение G_d рассчитывают для каждого временного интервала модели.

Аналогичный подход может быть применен и к испытаниям на открытом воздухе, где обычно существует некоторое количество рассеянного излучения. Однако при испытании коллектора можно достичь значение углового коэффициента, равное единице, при передвижении коллектора, как описано в 5.4.

Если известны оптические свойства коллектора, то можно вывести простую характеристику производительности коллектора, исходя из испытания при различных значениях диффузной и прямой радиации, путем вычисления эквивалентной нормальной радиации G'_n для каждой испытательной точки, используя отношение

$$G'_n = \frac{(\tau\alpha)_{e\theta}G_b + (\tau\alpha)_{ed}G_d}{(\tau\alpha)_{en}}, \quad (Б.21)$$

где $(\tau\alpha)_{e\theta}$, $(\tau\alpha)_{ed}$, $(\tau\alpha)_{en}$ — эффективное произведение коэффициента поглощения и коэффициента пропускания для прямой солнечной радиации с углом падения θ, для диффузной солнечной радиации и для прямой солнечной радиации при вертикальном падении солнечного излучения соответственно.

Данный подход до сих пор не адаптирован для коллекторов, у которых угловой коэффициент не может быть подсчитан из оптических свойств их компонентов, и *поэтому требуется уделить отдельное внимание этому моменту.*

Примечание — Выражения, приведенные в настоящем подразделе, выражены в единицах t_m и A_G. Они могут быть представлены через t_{in} и/или A_G. Методы для преобразования из одних единиц в другие предоставлены в Б.1.

Б.6 Воздействие ветра

Конвективные тепловые потери коллектора увеличиваются по нелинейному закону в зависимости от скорости ветра, и воздействие ветра велико на коллекторы с однослойным остеклением с высоким коэффициентом тепловых потерь. При очень низких скоростях ветра будет создаваться изолирующий слой теплового воздуха и тепловые потери будут уменьшаться. По этой причине рекомендуется, чтобы при испытании коллектора скорость воздушного потока составляла более 2 м/с.

Приложение В
(справочное)

Солнечный спектр

Таблица В.1 — Солнечный спектр

Процент	λ_K, мкм	Процент	λ_K, мкм	Процент	λ_K, мкм	Процент	λ_K, мкм
0,50	0,3326	25,50	0,5453	50,50	0,7269	75,50	1,0305
1,50	0,3550	26,50	0,5517	51,50	0,7357	76,50	1,0440
2,50	0,3723	27,50	0,5582	52,50	0,7143	77,50	1,0598
3,50	0,3365	28,50	0,5648	53,50	0,7526	78,50	1,0762
4,50	0,3987	29,50	0,5714	54,50	0,7622	79,50	1,0952
5,50	0,4081	30,50	0,5783	55,50	0,7726	80,50	1,1350
6,50	0,4168	31,50	0,5852	56,50	0,76118	81,50	1,1711
7,50	0,4256	32,50	0,5921	57,50	0,7909	82,50	1,1946
3,50	0,4342	33,50	0,5990	58,50	0,7999	83,50	1,2168
9,50	0,4422	34,50	0,6060	59,50	0,8102	84,50	1,2390
10,50	0,4193	35,50	0,6129	60,50	0,8214	85,50	1,2614
11,50	0,4557	36,50	0,6197	61,50	0,3331	80,50	1,2837
12,50	0,4621	37,50	0,6266	62,50	0,8436	87,50	1,3117
13,50	0,4684	38,50	0,6335	63,50	0,8540	89,50	1,4535
14,50	0,4746	39,50	0,6405	64,50	0,8643	89,50	1,5189
15,50	0,4809	40,50	0,6475	65,50	0,8748	90,50	1,5560
16,50	0,4872	41,50	0,6546	66,50	0,8860	91,50	1,5554
17,50	0,4936	42,50	0,6617	67,50	0,8979	92,50	1,6375
18,50	0,5001	43,50	0,6688	68,50	0,9107	93,50	1,6814
19,50	0,5065	44,50	0,6766	69,50	0,9252	94,50	1,7324
20,50	0,5129	45,50	0,6846	70,50	0,9526	95,50	1,9764
21,50	0,5194	46,50	0,6926	71,50	0,9732	96,50	2,1167
22,50	0,5259	47,50	0,7007	72,50	0,9886	97,50	2,2471
23,50	0,5324	48,50	0,7089	73,50	1,0027	98,50	2,4182
24,50	0,5388	49,50	0,7175	74,50	1,0166	99,50	3,6371

Приложение Г
(справочное)

Свойства воды

Таблица Г.1 — Свойства воды

Температура, °С	Плотность ρ, 10^3 (кг/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

Приложение Д
(справочное)

Измерение эффективной теплоемкости

Д.1 Испытательная установка

Коллектор укреплен в соответствии с рекомендациями раздела 5 и соединен с испытательным контуром для измерения теплоемкости.

Измерения эффективной теплоемкости могут быть выполнены в закрытом помещении, где измерены только теплопотери. Также измерения могут быть сделаны на открытом воздухе в установившихся условиях чистого неба или в искусственном источнике солнечной радиации.

Д.2 Методика испытания внутри помещения

Жидкий теплоноситель циркулирует от вершины до основания коллектора с постоянной температурой на входе, с величиной расхода, подобной той, что используют для испытания КПД коллектора, до тех пор пока не будут достигнуты установившиеся условия.

Температура на входе должна быстро подняться примерно до 10 K, и измерения проводят непрерывно до достижения установившихся условий. Этот процесс выполняют четыре раза и вычисляют среднеарифметическое значение эффективной теплоемкости.

Д.2.1 Измерения

Измеряют следующие величины:

- массовый расход жидкого теплоносителя;
- температура жидкости теплоносителя на входе коллектора;
- температура жидкости теплоносителя на выходе коллектора;
- температура окружающего воздуха.

Примечание — Когда испытывают коллектор, имеющий низкую теплоемкость, частота выборки для измерения температуры жидкости должна быть больше, чем обычно используемая для испытаний КПД коллектора, для того, чтобы исследовать переходный режим коллектора.

Д.2.2 Вычисление эффективной теплоемкости

Переходный режим коллектора между двумя внутренними установившимися режимами 1 и 2 представлен следующим уравнением:

$$C\frac{dt_m}{dt} = -\dot{m}c_f\Delta T - A_G\bar{U}_G\left(t_m - t_a\right), \qquad (Д.1)$$

где

$$\Delta T = (t_e - t_{in}) \text{ (отрицательный)},$$

t_{in} и t_e — температуры жидкости теплоносителя на входе и выходе коллектора, соответственно, под новым направлением потока жидкости теплоносителя.

Интегрируя уравнение за период между этими двумя установившимися режимами, получаем следующее выражение

$$C\left(t_{m2} - t_{m1}\right) = \int_{t_1}^{t_2}\dot{m}c_f\Delta T dt \; - A_G\bar{U}_G\int_{t_1}^{t_2}\left(t_m - t_a\right)dt. \qquad (Д.2)$$

Поскольку

$$t_m = t_{in}\frac{\Delta T}{2},$$

$(t_m - t_a)$ может быть выражено как

$$t_m - t_a = \left(t_{in} - t_a\right) + \frac{\Delta T}{2}. \qquad (Д.3)$$

Объединение вышеупомянутых уравнений, и его преобразование дает следующее уравнение для теплоемкости коллектора:

$$C = \frac{-\dot{m}c_f\int_{t_1}^{t_2}\Delta T dt - A_G\bar{U}_G\left[\int_{t_1}^{t_2}\left(t_m - t_a\right)dt + \frac{1}{2}\int_{t_1}^{t_2}\Delta T dt\right]}{t_{m2} - t_{m1}}. \qquad (Д.4)$$

Примечание — Выражения, приведенные в данном подразделе, выражены в единицах t_m и A_G. Они могут быть представлены через t_{in} и/или A_G. Методы для преобразования из одних единиц в другие предоставлены в Б.1.

Д.2.3 Определение эффективной теплоемкости по экспериментальным данным

Из результатов испытаний ($t_{in} - t_a$) и ΔT представлены как функция времени. Области под кривыми между этими двумя установившимися режимами соответственно

$$\int_{t_1}^{t_2} (t_m - t_a)dt \quad \text{и} \quad \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt .$$

Коэффициент теплопередачи U_G коллектора уже возможно определить в течение измерения теплопотерь коллектора внутри помещения. Однако $A_G U_G$ может быть получен непосредственно из двух установившихся режимов, следовательно, в установившемся режиме

$$0 = -\dot{m}c_f \Delta T - A_G \bar{U}_G (t_m - t_a).$$

Таким образом

$$A_G U_G = -\frac{\dot{m}c_f \Delta T}{t_m - t_a}, \tag{Д.5}$$

$A_G U_G$ рассчитывают для обоих установившихся режимов и вычисляют среднеарифметическое значение.

Значение эффективной теплоемкости определяют путем включения этого экспериментального значения в уравнении Д.4.

Примечание — Выражения, приведенные в настоящем подразделе, выражены в единицах t_m и A_G. Они могут быть представлены через t_{in} и/или A_G. Методы для преобразования из одних единиц в другие предоставлены в Б.1.

Д.3 Методика испытаний на открытом воздухе или в искусственном источнике солнечного излучения

Жидкость циркулирует с постоянной температурой и величиной расхода, подобной для испытания КПД коллектора, пока не будут достигнуты установившиеся условия. Апертура коллектора должна быть экранирована от солнечного излучения (естественного или искусственного) посредством солнечноотражающего покрытия.

Покрытие удаляют и непрерывно производят измерения, до тех пор пока не будут снова достигнуты установившиеся условия. Этот процесс выполняют четыре раза и выводят среднеарифметическое значение эффективной теплоемкости.

Производят измерения, описанные в Д.2.2. Кроме того, измеряют солнечную радиацию (естественную или искусственную) G.

Переходный режим коллектора между двумя установившимися режимами 1 и 2 представлен следующим уравнением

$$C\frac{dt_m}{dt} = -A_G\bar{\eta}_{0G} - \dot{m}c_f\Delta T - A_G\bar{U}_G(t_m - t_a), \tag{Д.6}$$

где, как и в Д.2.2,

$$\Delta T = (t_{in} - t_e) \text{ (положительный)}.$$

Интегрирование уравнения (Д.6) за период между этими двумя установившимися режимами дает следующее уравнение для теплоемкости коллектора:

$$C = \frac{A_G\bar{\eta}_{0G}\int_{t_1}^{t_2} G dt - \dot{m}c_f\int_{t_1}^{t_2}\Delta T dt - A_G\bar{U}_G\left[\int_{t_1}^{t_2}(t_{in} - t_a)dt + \frac{1}{2}\int_{t_1}^{t_2}\Delta T dt\right]}{t_{m2} - t_{m1}}. \tag{Д.7}$$

Из результатов испытаний ($t_{in} - t_a$), ΔT и G представлены, как функция времени. Области под кривыми между этими двумя установившимися режимами соответственно

$$\int_{t_1}^{t_2}(t_{in} - t_a), \quad \int_{t_1}^{t_2}\Delta T dt \quad \text{и} \quad \int_{t_1}^{t_2} G dt.$$

Пересечение оси y происходит в η_{0G}, а градиент U_G линейной формы мгновенного КПД η_G известен из испытания.

Значение для эффективной теплоемкости определяют путем включения этого экспериментального значения в уравнении (Д.7).

Приложение Е
(справочное)

Двухосный угловой коэффициент

Известно, что для многих коллекторов $(\tau\alpha)_e$ не симметрично относительно угла падения. Строгое рассмотрение оптического отклика приводит к тому, что угловой коэффициент зависит в сложной форме и от обычного угла падения, и от угла азимута в плоскости апертуры. Определение этого двухосного углового коэффициента для каждого проекта коллектора является утомительной и трудоемкой задачей как аналитически, так и экспериментально. Для случаев коллектора с параболоцилиндрическим концентратором и для вакуумного коллектора существует два взаимноперпендекулярных направления симметрии — одно параллельно продольной оси ПП, другое перпендикулярно продольной оси ПП. Получается, что K_θ может быть выражен как простое произведение двух независимых угловых коэффициентов, каждый из которых взят для взаимноперпендекулярных направлений симметрии (для Γ и Ω, см. рисунок Е.1). Таким образом,

$$K_\theta = K_1(\Omega)K_2(\Gamma). \tag{Е.1}$$

Другое возможное выражение для вакуумных коллекторов

$$K_\theta = K_1(\Omega)K_2(\Psi). \tag{Е.2}$$

$K_2(\Psi)$ лучше всего измеряют при эффекте отражения Френеля, который появляется когда лучи не перпендикулярные оси трубок коллектора.

Угловой коэффициент рассеянного излучения может быть показан через изотропное рассеянное излучение

$$K_d = \frac{4}{\pi}\int_0^{\pi/2} K_1(\Omega)\cos\Omega d\Omega \int_0^{\pi/2} K_2(\Psi)\cos^2\Psi d\Psi. \tag{Е.3}$$

Выражение Е.3 может быть получено и численно и аналитически, если известны аналитические коэффициенты корреляции K_1 и K_2.

Мгновенная полезная энергия, полученная от коллектора, может быть определена, если использовать линейную форму уравнения КПД, т. е.

$$\dot{Q} = A_G\left[\bar{\eta}_{ob}K_\theta G_b + \bar{\eta}_{od}G_d - \bar{U}(t_m - t_a)\right]. \tag{Е.4}$$

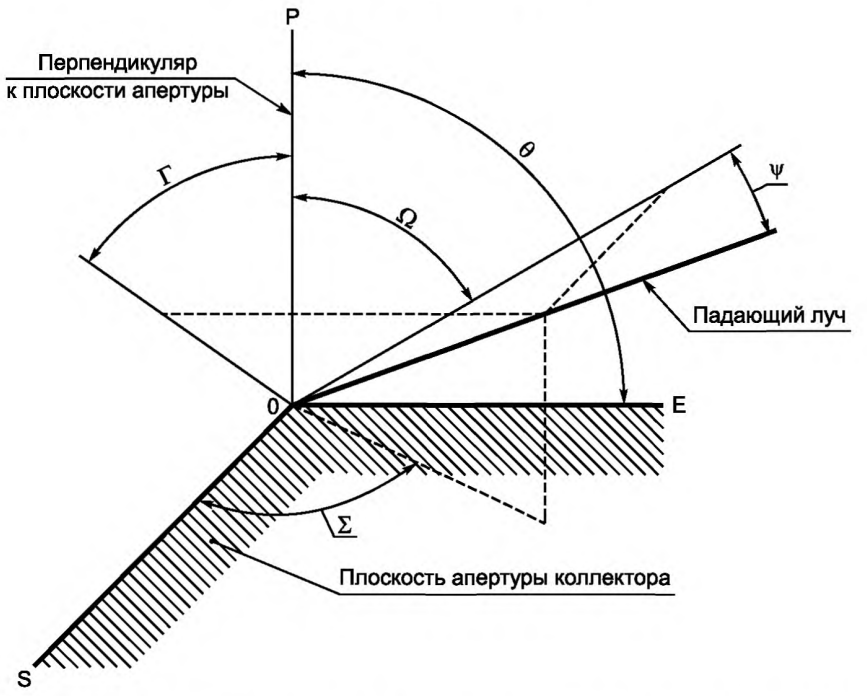


Рисунок Е.1 — Углы, используемые при определении двухосного углового коэффициента (плоскость *EOS* совпадает с плоскостью апертуры коллектора)

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

[3] ИСО 9846:1993 (ISO 9846:1993) Энергия солнечная. Калибрование пиранометра с использованием пергелиометра (Solar energy. Calibration of a pyranometer using a pyrheliometer)

[4] ИСО 9847:1992 (ISO 9847:1992) Энергия солнечная. Поверка полевых пиранометров путем сравнения с эталонным пиранометром (Solar energy. Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer)

УДК 620.91:644.001.4:006.354 ОКС 27.160

Ключевые слова: коллекторы солнечные, методы испытаний, протокол испытаний, остекленные коллекторы с жидким теплоносителем, тепловая характеристика

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Ю. Фотиева*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *Е.Е. Кругова*

Сдано в набор 17.11.2015. Подписано в печать 08.02.2016. Формат 60 ×84$^{1}/_{8}$. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,10. Тираж 33 экз. Зак. 4149.

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

gost.e-ecolog.ru