

# АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 697.329

## ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ, КОНСТРУКЦИЙ, ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ\*

*А.Л. Карташев, Е.В. Сафонов, М.А. Карташева  
г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет*

## STUDY OF SCHEMES, CONSTRUCTIONS, ENGINEERING SOLUTIONS FOR PLANE SOLAR THERMAL COLLECTORS

*A.L. Kartashev, E.V. Safonov, M.A. Kartasheva  
Chelyabinsk, South Ural State University*

Исследованы схемы, конструкции, технические решения плоских солнечных термальных коллекторов, в том числе проведена классификация технических решений в конструкции солнечных термальных коллекторов, проведен их анализ. Предложены технические решения, повышающие эффективность плоского солнечного термального коллектора. Разработаны технические требования к ним для систем автономного теплообеспечения.

*Ключевые слова:* схема, конструкция, техническое решение, плоский солнечный термальный коллектор, эффективность, технические требования.

The schemes, constructions, technical decisions of plane solar thermal collectors are researched, including, classification of technical decisions in constructions of solar thermal collectors are realized, construction decisions of solar thermal collectors are researched. The technical decisions, increasing the efficiency of plane solar thermal collector are introduced. The technical requirements to plane solar thermal collectors for autonomous heat-supplying systems are developed.

*Keywords:* scheme, construction, technical decision, plane solar thermal collector, efficiency, technical requirements

### Классификация технических решений в конструкции солнечных термальных коллекторов

Типичный солнечный термальный коллектор накапливает солнечную энергию в установленных на крыше здания модулях трубок и металлических пластин, окрашенных в черный цвет для максимального поглощения солнечной радиации. Они заключены в стеклянный или пластмассовый корпус и наклонены к югу, чтобы улавливать максимум солнечного света. Схема коллектора приведена на рис. 1 [1].

Существуют солнечные коллекторы различных размеров и конструкций в зависимости от их применения. Они могут обеспечивать горячее водоснабжение (ГВС) либо использоваться для предварительного нагрева воды для существующих водонагревателей.

В настоящее время множество различных мо-

делей коллекторов можно классифицировать по следующим признакам:

- диапазону температур: низко-, средне- и высокотемпературные;
- виду теплоносителя: жидкостные, воздушные;
- конструкции теплопринимающей поверхности: плоские, концентрические, трубчатые;
- типу основания: стационарное, следящее за изменением местоположения солнца;
- прозрачности теплоизоляции: стеклянная, полимерная, отсутствует;
- вакуумированию: применяется, не применяется;
- наличию тепловых труб: применяются, не применяются;
- форме проточного тракта солнечного коллектора: круглое сечение, щели;

\* Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 16.516.11.6054 Министерства образования и науки Российской Федерации.

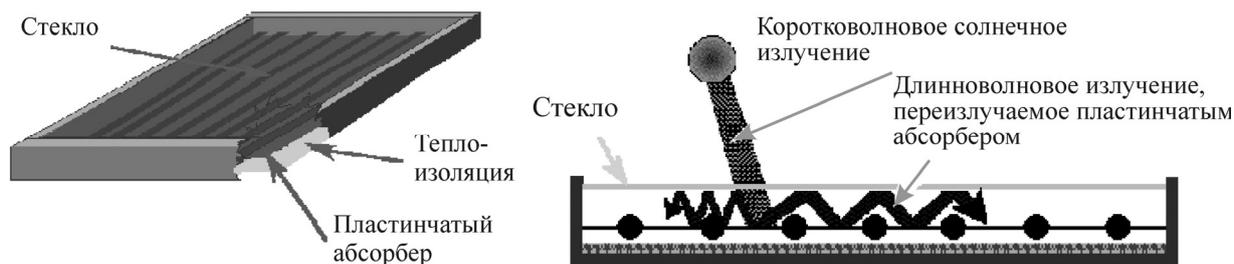


Рис. 1. Схема термального солнечного коллектора

- конструкции абсорбера:
- штампованный абсорбер;
- труба внутри или снаружи листа абсорбера;
- в виде соединенного гофрированного и плоского листов;
- лист с приваренными каналами;
- в виде трубки;
- прокатно-сварная алюминиевая панель;
- регистр из труб с ребрами;
- покрытие абсорбера: селективное, неселективное;
- отбор тепла: проточный, с промежуточной аккумуляцией.

Низкотемпературные коллекторы производят низкопотенциальное тепло, ниже 50 °С. Используются они для подогрева воды в бассейнах и в других случаях, когда требуется не слишком горячая вода.

Среднетемпературные коллекторы производят высоко- и среднетемпературное тепло (выше 50 °С). Обычно это остекленные плоские коллекторы, в которых теплопередача совершается посредством жидкости, либо коллекторы-концентраторы, в которых тепло концентрируется. Примером является коллектор вакуумированный трубчатый, который часто используется для нагрева воды в жилом секторе.

Высокотемпературные коллекторы (свыше 350 °С) представляют собой параболические тарелки и используются в основном электрогенерирующими предприятиями для производства электричества для электросетей.

Наиболее эффективной областью применения солнечных коллекторов является среднетемпературный диапазон.

**Жидкостные коллекторы.** В жидкостных коллекторах солнечная энергия нагревает жидкость, текущую по трубкам, прикрепленным к поглощающей пластине. Тепло, поглощенное пластиной, немедленно передается жидкости, что представлено на рис. 2.

Трубки могут располагаться параллельно друг другу, причем на каждой имеются входное и выпускное отверстия, либо в виде змеевика. Змеевидное расположение трубок устраняет возможность протекания через соединительные отверстия и обеспечивает равномерный поток жидкости. С другой стороны, при спуске жидкости, во избежа-

ние ее замерзания, могут возникнуть трудности, так как в изогнутых трубках может местами оставаться вода.

В самых простых жидкостных системах используется обычная вода, которая нагревается прямо в коллекторе и поступает в ванную, кухню и т. п. Эта модель известна как «разомкнутая» (либо «прямая») система. В регионах с холодным климатом жидкостные коллекторы нуждаются в спуске воды в холодное время года, когда температура опускается до точки замерзания, либо требуют применения в качестве теплоносителя незамерзающей жидкости. В таких системах жидкий теплоноситель поглощает тепло, накопленное коллектором, и проходит через теплообменник. Теплообменником обычно служит установленный в доме водяной бак, в котором тепло передается воде. Эта модель – «замкнутая система» («непрямая»).

Остекленные жидкостные коллекторы используются для нагрева бытовой воды, а также для отопления помещений. Неостекленные коллекторы обычно нагревают воду для бассейнов. Поскольку таким коллекторам не нужно выдерживать высокую температуру, в них применяются недорогие материалы: пластмасса, резина. Они не нуждаются в защите от замерзания, так как используются в теплое время года.

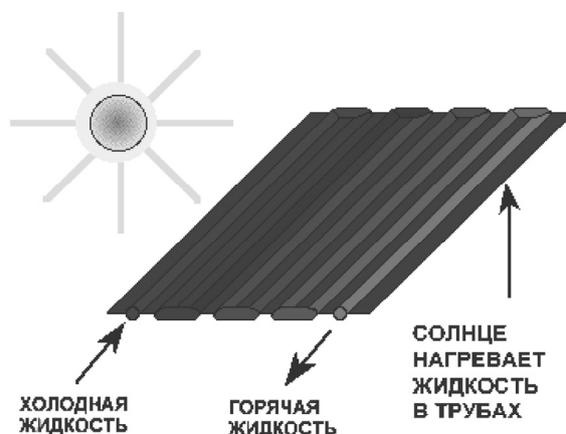


Рис. 2. Схема жидкостного коллектора

**Воздушные коллекторы.** Воздушные коллекторы имеют то преимущество, что им не свойственны проблемы замерзания и кипения теплоноси-

## Альтернативные источники энергии

теля, от которых порой страдают жидкостные системы. И хотя утечку теплоносителя в воздушном коллекторе труднее заметить и устранить, она приносит меньше неприятностей, чем утечка жидкости. В воздушных системах часто используются более дешевые материалы, чем в жидкостных, например, пластмассовое остекление, потому что рабочая температура в них ниже.

Воздушные коллекторы представляют собой простые плоские коллекторы и используются в основном для отопления помещений и сушки сельскохозяйственной продукции. Поглощающими пластинами в воздушных коллекторах служат металлические панели, многослойные экраны, в том числе и из неметаллических материалов. Воздух проходит через поглотитель благодаря естественной конвекции или под воздействием вентилятора. Основными достоинствами воздушных коллекторов являются их простота и надежность. Такие коллекторы имеют простое устройство. При надлежащем уходе качественный коллектор может прослужить 10–20 лет, а управление им несложно. Теплообменник не требуется, так как воздух не замерзает.

Солнце нагревает металл, а вентилятор втягивает нагретый воздух сквозь отверстия в металле. Такие коллекторы разного размера используются в частных домах. Типичный коллектор размером 2,4 на 0,8 метра может нагревать 0,002 м<sup>3</sup> наружного воздуха в секунду. В солнечный зимний день воздух в коллекторе нагревается на 28 °С по сравнению с наружным. При этом улучшается качество воздуха внутри дома, так как коллектор непосредственно нагревает поступающий снаружи свежий воздух. Эти коллекторы достигли очень высокой эффективности – в некоторых случаях промышленного применения она превышает 70 %. К тому же они не требуют остекления, изоляции и дешевы в изготовлении, схема коллектора приведена на рис. 3.

### Конструктивные решения солнечных термальных коллекторов

**Плоские коллекторы.** Плоский коллектор – самый распространенный вид солнечных коллекторов, используемый в бытовых водонагревательных и отопительных системах (рис. 1).

Обычно этот коллектор представляет собой теплоизолированный металлический ящик со стеклянной либо пластмассовой крышкой, в который помещена окрашенная в черный цвет пластина абсорбера (поглотителя). Остекление может быть прозрачным либо матовым. В плоских коллекторах обычно используется матовое, пропускающее только свет стекло с низким содержанием железа (оно пропускает значительную часть поступающего на коллектор солнечного света). Солнечный свет попадает на тепловоспринимающую пластину, а благодаря остеклению снижаются потери тепла. Дно и боковые стенки коллектора покрывают теплоизолирующим материалом, что еще больше сокращает тепловые потери.

Пластина абсорбера обычно окрашивают в черный цвет, так как темные поверхности поглощают больше солнечной энергии, чем светлые. Солнечный свет проходит через остекление и попадает на поглощающую пластину, которая нагревается, превращая солнечную радиацию в тепловую энергию. Это тепло передается теплоносителю – воздуху или жидкости, циркулирующей по трубкам, проложенным внутри или снаружи поглощающей поверхности. Поскольку большинство черных поверхностей все же отражает порядка 10 % падающей радиации, некоторые пластины-поглотители обрабатываются специальным селективным покрытием, которое лучше удерживает поглощенный солнечный свет и служит дольше, чем обычная черная краска. Селективное покрытие, используемое в коллекторах, состоит из очень прочного тонкого слоя аморфного полупроводни-

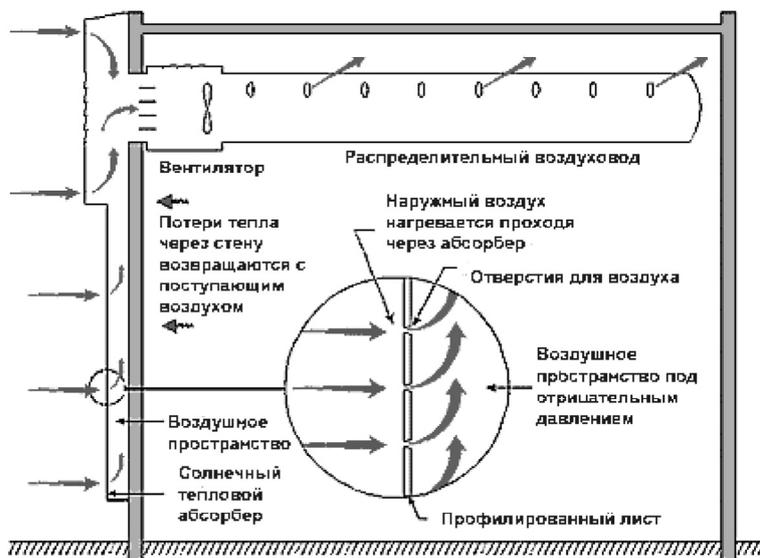


Рис. 3. Схема воздушного коллектора

ка, нанесенного на металлическое основание. Селективные покрытия отличаются высокой поглощающей способностью в видимой области спектра и низким коэффициентом излучения в длинноволновой инфракрасной области.

Поглощающие пластины обычно изготовлены из металла, хорошо проводящего тепло (чаще всего меди или алюминия). Медь дороже, но лучше проводит тепло и меньше подвержена коррозии, чем алюминий. Пластина-поглотитель должна иметь высокую теплопроводность, чтобы с минимальными теплотерями передавать воде накопленную энергию.

Таким образом, основные достоинства схем и конструкций плоских коллекторов – простота, технологичность; недостатки – снижение эффективности в неблагоприятных условиях.

#### Трубчатые вакуумированные коллекторы

Традиционные простые плоские солнечные коллекторы были спроектированы для применения в регионах с теплым солнечным климатом. Они резко теряют в эффективности в неблагоприятные дни – в холодную, облачную и ветреную погоду. Более того, вызванные погодными условиями конденсация и влажность приводят к преждевременному износу внутренних материалов, а это, в свою очередь, ведет к ухудшению эксплуатационных качеств системы и ее поломкам. Эти недостатки устраняются путем использования вакуумированных коллекторов. Компоновка и схема такого коллектора приведены на рис. 4.

Вакуумированные коллекторы нагревают воду для бытового применения там, где нужна вода более высокой температуры. Солнечная радиация проходит сквозь наружную стеклянную трубку, попадает на трубку-поглотитель и превращается в тепло. Оно передается жидкости, протекающей по трубке. Коллектор состоит из нескольких рядов параллельных стеклянных трубок, к каждой из которых прикреплен трубчатый поглотитель (вместо пластины-поглотителя в плоских коллекторах) с селективным покрытием. Нагретая жидкость циркулирует через теплообменник и отдает тепло воде, содержащейся в баке-накопителе.

Вакуумированные коллекторы являются модульными, т. е. трубки можно добавлять или убирать по мере надобности, в зависимости от потребности в горячей воде. При изготовлении коллекторов этого типа из пространства между трубками высасывается воздух и образуется вакуум. Благодаря этому устраняются потери тепла, связанные с теплопроводностью воздуха и конвекцией, вызванной его циркуляцией. Остается радиационная потеря тепла (тепловая энергия движется от теплой к холодной поверхности даже в условиях вакуума). Однако эта потеря мала и незначительна по сравнению с количеством тепла, передаваемого жидкости в трубке-поглотителе. Вакуум в стеклянной трубке – лучшая из возможных теплоизоляций для коллектора, так как снижает потери тепла и защищает поглотитель и теплоотводящую трубку от неблагоприятных внешних воздействий. Результат – отличные рабочие характеристики, превосходящие любой другой вид солнечного коллектора.

Существует множество различных видов вакуумированных коллекторов. В некоторых конструкциях внутри трубки-поглотителя проходит еще одна, третья стеклянная трубка; есть и другие конструкции теплопередающих ребер и жидкостных трубок. Существует вакуумный коллектор, который вмещает по 19 литров воды в каждой трубке, устраняя таким образом потребность в отдельном баке для хранения воды. Можно также разместить позади вакуумных трубок рефлекторы, чтобы дополнительно концентрировать на коллекторе солнечную радиацию.

#### **Технические решения, повышающие эффективность плоского солнечного термального коллектора**

Анализ существующих схем и конструкций позволяет выделить следующие пути повышения эффективности плоских солнечных коллекторов:

– лист теплопоглощающей панели выполнен из алюминия с черным или селективным покрытием по наружной поверхности, а впрессованные в

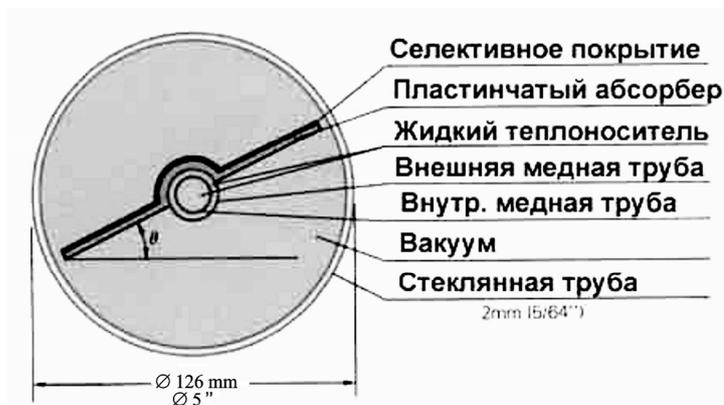


Рис. 4. Компоновка и схема трубчатого вакуумированного коллектора

## Альтернативные источники энергии

него металлические трубы с жидкостным теплоносителем выполнены из меди (пат. RU №2250422);

- использование слоя германия в виде покрытия абсорбера, нанесенного гальваническим способом (пат. RU №52159);

- теплопоглощающий элемент выполнен из меди с нанесенным на его внешнюю поверхность селективным покрытием, а теплопоглощающие элементы для жидкого теплоносителя расположены внутри корпуса в виде металлических труб с ребрами (пат. RU №53417);

- применение селективного покрытия для тепловоспринимающих элементов солнечного коллектора (пат. RU №90884, пат. RU №94316, пат. RU №96637, пат. RU №2329437, пат. RU №2348869, пат. RU №2388974, пат. RU №2407957);

- стеклянные поверхности солнечного коллектора имеют однослойное просветляющее покрытие в виде пленки SiO<sub>2</sub> (пат. RU №2393390);

- стекла в конструкции коллектора выполнены с односторонним зеркальным слоем, направленным внутрь в сторону теплоносителя, пропускающим свет в одном направлении, препятствуют истечению тепла и света наружу (пат. RU №55942);

- использование на внутренней поверхности светопрозрачного экрана сетки из биметалла с квадратными ячейками для преобразования пленочной конденсации в капельную вследствие термовибрации сетки под воздействием солнечного нагрева (пат. RU №50561);

- включение в конструкцию помимо каналов для протекания теплоносителя каналов, содержащих фазопереходный теплоаккумулирующий материал (пат. RU №79989);

- использование инертного газа в межстекольном пространстве прозрачного остекления плоского солнечного коллектора (пат. RU №90884);

- вакуумирование полости в корпусе (пат. RU №90885, пат. RU №95080, пат. RU №2348869);

- заполнение пространства между прозрачным защитным покрытием и теплоприемной панелью аргоном либо газами, содержащими люминофоры и смещающие спектр падающего излучения в инфракрасную область (пат. RU №2350852);

- подогрев защитного стекла солнечного коллектора с помощью распределенных нагревательных элементов (пат. RU №98551);

- использование в качестве теплоносителя газа CO или CO<sub>2</sub>, или комбинация газа CO или CO<sub>2</sub> и незамерзающей жидкости (газированная жидкость) (пат. RU №2330218);

- применение для поглотителя медной пластины, покрытой пленкой селективного поглотителя, в частности «черным» хромом (пат. RU №2348869);

- оснащение конструкции солнечного коллектора ультразвуковым генератором для создания микровибраций коллектора и турбулизации потока теплоносителя (пат. RU №2367851);

- введение в конструкцию коллектора элементов, способствующих турбулизации теплоносителя в каналах (пат. RU №2388974).

Таким образом, повышение тепловой эффективности солнечных коллекторов может быть достигнуто путём применения:

- концентраторов солнечного излучения;

- селективно-поглощающего покрытия абсорбера;

- вакуумирования пространства внутри коллектора;

- нескольких слоев прозрачной изоляции;

- сотовой ячеистой структуры в пространстве между абсорбером и остеклением;

- антиотражательных покрытий на остеклении;

- новых видов теплоизоляционных материалов.

Введение в конструкцию указанных технических решений повышает тепловые характеристики солнечных коллекторов, снижает тепловые потери коллектора и увеличивает его КПД, однако значительно усложняется технология и увеличивается стоимость коллектора. Прирост эффективности от указанных мероприятий обычно не превышает 20–30 %, что может быть с успехом компенсировано соответствующим увеличением необходимой площади уже существующих более простых конструкций.

В связи с этим актуальным становится разработка конструкций плоских солнечных коллекторов, имеющих стоимость не более 8000 руб. за 1 м<sup>2</sup> площади тепловоспринимающей панели, при этом от конструкций плоских солнечных коллекторов требуется максимальная простота и эксплуатационная надежность в течение не менее 20–25 лет.

### Технические требования к плоским солнечным термальным коллекторам для систем автономного теплообеспечения

Анализ технико-экономических показателей и реальных условий эксплуатации плоских коллекторов позволяет установить следующий ряд дополнительных конструкционных, технологических и прочих требований.

#### 1. Технологические требования:

- масса коллектора на 1 м<sup>2</sup> тепловоспринимающей панели – не более 30 кг;

- максимальный коэффициент тепловосприятия на 1 м<sup>2</sup> панели на 1 кг массы;

- температура теплоносителя в коллекторе – не более 115 °С.

- минимальное количество конструкционных материалов;

- рабочее давление – не более 0,7 МПа;

- испытательное давление – 1,0 МПа;

- минимальный срок эксплуатации – не менее 20 лет;

- использование максимального количества стандартных узлов, деталей и заготовок;

– взаимозаменяемость отдельных деталей и узлов;

– возможность использования широкого спектра технологического оборудования для серийного производства.

**2. Требования по надежности:**

– соответствие ГОСТ Р 51595-2000 «Коллекторы солнечные. Общие технические условия»;

– соответствие нормам проектирования по условиям взрыво- и пожаробезопасности и поражения электрическим током.

**3. Требования по эксплуатации и техническому обслуживанию;**

– температура среды от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 10–90 %;

– простота в эксплуатации и регламентном обслуживании;

– минимальное участие обслуживающего персонала в запуске, работе и отключении изделия;

– минимальное время для ремонта и планового обслуживания.

**4. Ремонт:**

– осуществляется ремонтными службами обслуживающей организации при условии наличия технической документации и обучения персонала, а также если не возможен ремонт на предприятии-изготовителе или в его представительствах.

**5. Хранение, упаковка и маркировка:**

– упаковка должна быть пыле- и влагозащитной, ударопрочной;

– гарантийный срок хранения – не менее 12 месяцев со дня изготовления при наличии упаковки; после истечения гарантийного срока – распаковка изделия, испытания с целью подтверждения работоспособности и нормального функционирования изделия, повторная упаковка;

– маркировка изделия и упаковки – в соответствии с ГОСТ.

**6. Транспортировка:**

– производится всеми видами наземного, воздушного и морского транспорта при соответствующих условиях погрузки, перемещения и разгрузки;

– удары, попадание влаги, грязи и пыли не допускается.

**7. Требования к теплоносителю:**

– использовать солнечные коллекторы в системах, не требующих слива теплоносителя в зимний период;

– теплоносителем в коллекторном контуре должна быть химически очищенная вода или (при возможности замерзания) антифризы на основе этилен- или пропиленгликоля, применяемые в системах отопления индивидуальных зданий и содержащих ингибиторы коррозии;

– при использовании в качестве теплоносителя воды необходимо предусмотреть ее химическую обработку и деаэрирование перед заполнением системы;

– при круглогодичной эксплуатации системы солнечного теплоснабжения в теплоприемном контуре необходимо применять антифриз;

– давление антифриза в теплоприемном контуре должно быть ниже, чем давление воды в тепловоспринимающем контуре во избежание утечки теплоносителя в бак-аккумулятор при нарушении герметичности теплообменника.

**8. Требования к системе солнечного теплообеспечения:**

– необходимо устанавливать в коллекторном контуре системы мембранный расширительный бак для компенсации увеличения объема теплоносителя при нагреве и предохранительный клапан для предохранения коллектора от роста давления свыше рабочего;

– в установках солнечного теплоснабжения необходимо использовать водяные насосы, применяемые в системах отопления и горячего водоснабжения зданий. При использовании в теплоприемном контуре антифриза необходимо применять насосы типов ЦВЦ, ВС, ВКО и ХО, а также импортные аналоги;

– при установке насосов в жилых домах необходимо применять малошумные насосы или принимать меры к снижению шума и вибрации;

– для обеспечения высокой эффективности солнечных коллекторов и выбора циркуляционного насоса необходимо выполнить гидравлический расчет по общепринятой методике с учетом, что сопротивление солнечного коллектора при расходе  $50\text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$  не должно превышать 500 Па;

– в установках солнечного теплоснабжения с большой площадью поверхности солнечных коллекторов необходимо предусмотреть возможность отключения отдельных секций в случае выхода их из строя без вывода из эксплуатации всей установки;

– для удаления воздуха из системы необходимо предусмотреть наличие воздушного клапана, устанавливаемого в наивысшей точке системы. Допускается удалять воздух с помощью расширительного бака, установленного выше уровня статического давления в гелиоконтуре;

– необходимо предусмотреть наличие в солнечной системе автоматического регулятора температуры для поддержания постоянной температуры горячей воды, подаваемой к потребителю;

– между выходом из коллектора и сосудом необходимо разместить возвратный клапан, для предотвращения обратной циркуляции теплой воды;

– использовать солнечные коллекторы целесообразно в системах непрямого нагрева воды, т.е. в первом замкнутом контуре двухконтурных систем, имеющих специальный промежуточный теплообменник для передачи тепла в накопительный бак-аккумулятор системы, для увеличения срока службы и сохранения высокой эффективности ра-

## Альтернативные источники энергии

боты в течение всего периода эксплуатации. Не допускается прямой нагрев воды в коллекторах из-за ускорения внутренней коррозии и возможного засорения каналов поглощающей панели механическими взвесями и отложениями солей;

– для равномерного распределения потока теплоносителя в системах солнечные коллекторы необходимо соединить в последовательно-параллельные и параллельно-последовательные группы с учетом удобства технического обслуживания и ремонта;

– обеспечить южную ориентацию солнечных коллекторов, с учётом следующего: отклонение от южной ориентации на восток до  $15^\circ$  введет к уменьшению прихода солнечной радиации на 5 %, отклонение на запад до  $30^\circ$  – на 10 %;

– угол наклона солнечных коллекторов к горизонту при круглогодичной работе установки должен быть равным широте местности для солнечного горячего водоснабжения и  $\varphi+15^\circ$  – для солнечных систем теплоснабжения;

– система теплоснабжения должна содержать дублер, работающий совместно с солнечной установкой, при длительном отсутствии солнечной радиации, обеспечивающий 90 %-ное покрытие тепловой нагрузки здания.

### Заключение

1. В результате проведенных исследований выполнена классификация технических решений, применяемых в конструкциях солнечных термальных коллекторов.

2. Исследованы конструктивные решения солнечных термальных коллекторов.

3. Исследованы технические решения, повышающие эффективность плоского солнечного термального коллектора.

4. Разработаны технические требования к плоским солнечным термальным коллекторам для систем автономного теплообеспечения.

### Литература

1. *Исследование солнечного термального коллектора с повышенными тепловыми и эксплуатационными характеристиками систем автономного теплообеспечения / А.Л. Карташев, Е.В. Сафонов, М.А. Карташева и др. // Создание установки энергоснабжения на основе термального солнечного коллектора с системой аккумулирования тепловой энергии, мониторинга и управления тепловыми режимами здания: отчет о научно-исследовательской работе. Этап 2. – Челябинск, ЮУрГУ, 2011. – 112 с.*

*Поступила в редакцию 10.01.2012 г.*

**Карташев Александр Леонидович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели летательных аппаратов», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – математическое моделирование и проектирование энергетических установок и сложных технических систем, исследование гидрогазодинамических процессов и процессов теплообмена в технических системах. Контактный телефон: 8-(351)-267-92-65.

**Kartashev Alexander Leonidovich** is a Doctor of Science (Engineering), a Professor of Aircraft Engines Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: mathematical simulation and design of power installations and complex engineering systems, hydrogasdynamic processes and heat transfer processes in engineering systems study. Telephone: 8-(351)-267-92-65.

**Сафонов Евгений Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Двигатели летательных аппаратов», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – проектирование энергетических установок, математическое моделирование гидрогазодинамических и тепловых процессов в технических системах. Контактный телефон: 8-(351)-267-92-65.

**Safonov Evgeney Vladimirovich** is a Candidate of Science (Engineering), an associate professor of Aircraft Engines Department of South Ural State University. Research interests: power installations design, mathematical simulation of hydrogasdynamic and heat processes in engineering systems. Telephone: 8-(351)-267-92-65.

**Карташева Марина Анатольевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Летательные аппараты и автоматические установки», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – математическое моделирование и проектирование энергетических установок и сложных технических систем, исследование гидрогазодинамических процессов и процессов теплообмена в технических системах. Контактный телефон: 8-(351)-267-94-61.

**Kartasheva Marina Anatolyevna** is a Candidate of Science (Engineering), an associate professor of Aircrafts and Automated Installations Department of South Ural State University. Research interests: mathematical simulation and design of power installations and complex engineering systems, hydrogasdynamic processes and heat transfer processes in engineering systems study. Telephone: 8-(351)-267-94-61.