

УДК 662.997

**ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА
СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК¹***Арсатов А.В.* , Ощепков М.Ю.* , Фрид С.Е.** , Сулейманов М.Ж.*****ООО «Политермо», г. Москва, **ОИВТ РАН, г. Москва*

Характерной особенностью большинства возобновляемых источников энергии (ВИЭ), ограничивающей их практическое применение, является низкая плотность энергетических потоков и их непостоянство во времени, требующие значительных затрат на оборудование, обеспечивающее сбор, аккумулирование и преобразование энергии. Тем не менее, многие из технологий использования различных ВИЭ достигли коммерческой зрелости и стали конкурентоспособными на рынке энергетических услуг многих стран мира. В первую очередь это относится к установкам солнечного теплоснабжения, а среди них – к солнечным водонагревательным установкам (СВУ). К настоящему времени суммарная тепловая мощность действующих установок солнечного теплоснабжения превысила 269 ГВт (более 385 млн м² солнечных коллекторов) [1]. В России рынок солнечных водонагревателей находится на начальном этапе своего развития (суммарная площадь солнечных коллекторов установок солнечного теплоснабжения не превышает 20 тыс. м²), что определяет актуальность задачи освоения промышленного производства отечественных солнечных установок.

Уже к началу 2000-х годов технологии изготовления солнечных коллекторов из традиционных материалов были достаточно отработаны, коллекторы вышли на параметры, близкие к предельным, резервы снижения стоимости коллекторов были практически исчерпаны на уровне 100 долларов США за 1 м². Одним из путей снижения стоимости солнечных коллекторов и установок в целом является замена традиционных материалов в них на полимерные материалы и композиты с соответствующим изменением конструкции СВУ, учитывающим специфику этих материалов. В солнечных водонагревательных установках на базе плоских солнечных коллекторов полимерные материалы наиболее часто используются в тыльной теплоизоляции и остеклении (7...12%), а также в элементах корпуса (2...3%). Мировая доля СВУ различных типов, изготовленных полностью из полимерных материалов, составляет 12% (преимущественно за счет неостеклённых установок для подогрева воды в плавательных бассейнах). Создание остеклённых плоских солнечных коллекторов из полимерных материалов и композитов сопряжено с поиском материалов, способных работать в аварийных режимах при температурах до 180°C и отработкой методов аварийной тепловой защиты поглощающих панелей.

Ещё одна из возможностей снижения стоимости СВУ – совмещение функций солнечного коллектора и бака-аккумулятора в одном устройстве – установке аккумуляционного типа. Причинами непопулярности таких установок в настоящее время являются их низкая технологичность (при изготовлении из традиционных материалов) и высокая стоимость при потенциально более простой конструкции. Принято также считать, что их эффективность ниже, чем установок с отдельными

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (соглашение о предоставлении субсидии № 14.607.21.0036, уникальный идентификатор RFMEFI57714X0068)

солнечным коллектором и баком-аккумулятором. Применение пластмасс и композиционных материалов позволяет резко уменьшить количество деталей, из которых собирается СВУ, трудоемкость её сборки и стоимость, а высокая эффективность сезонных установок аккумуляционного типа в средней полосе и на Юге России подтверждается выполненными нами расчётами.

Типичная солнечная водонагревательная установка содержит в себе солнечный коллектор – теплообменник, в котором происходит поглощение падающего солнечного излучения и нагрев поглощённым теплом воды, и бак-аккумулятор, в котором накапливается нагретая в коллекторе вода, отводимая потребителю через выходной патрубок установки, находящийся в верхней части бака. В нижнюю его часть подаётся холодная вода. Термосифонная СВУ (установка с естественной циркуляцией теплоносителя) других обязательных элементов обычно не содержит, в установке с принудительной циркуляцией в солнечном контуре есть ещё регулятор, включающий и выключающий также имеющийся в схеме циркуляционный насос в зависимости от соотношения температур в солнечном коллекторе и баке-аккумуляторе. Установка может содержать расположенный в баке или на пути нагретой воды к потребителю дополнительный нагреватель для доведения температуры нагретой в СВУ воды до требуемого потребителю уровня. В установках, работающих круглый год в условиях возможности заморозков, в солнечном коллекторе циркулирует тот или иной антифриз, а для отделения его от нагреваемой воды между коллектором и баком или внутри бака устанавливается теплообменник.

Ключевым устройством СВУ, в котором энергия солнечного излучения преобразуется в тепло, является солнечный коллектор. Наиболее часто встречающаяся его разновидность – плоский солнечный коллектор типа «лист-труба» с жидким теплоносителем. Он представляет собой теплоизолированный с боков и снизу и застекленный сверху ящик, в который помещена поглощающая панель – металлический лист с каналами для прокачки теплоносителя, покрытый краской или специальным покрытием, хорошо поглощающим солнечное излучение. Подвод и отвод теплоносителя к поглощающей панели осуществляются через раздающий и сборный гидравлические коллекторы.

Солнечное излучение, падающее на поглощающую панель, поглощается ее поверхностью и нагревает панель и теплоноситель в каналах (рис. 1). Полезное тепло отводится теплоносителем, при этом часть попадающего на поверхность остекления солнечного излучения отражается от остекления, часть поглощается в нем. Доля солнечного излучения, поглощенного панелью, характеризуется эффективной поглощающей способностью ($\tau\alpha$) [2]. Тепло, выделяющееся при поглощении солнечного излучения на панели, расходуется, помимо нагрева теплоносителя, на тепловые потери и нагрев конструкций коллектора. Тепловые потери характеризуются полным коэффициентом потерь U_L , а тепловая инерция коллектора – его приведенной теплоемкостью или постоянной времени.

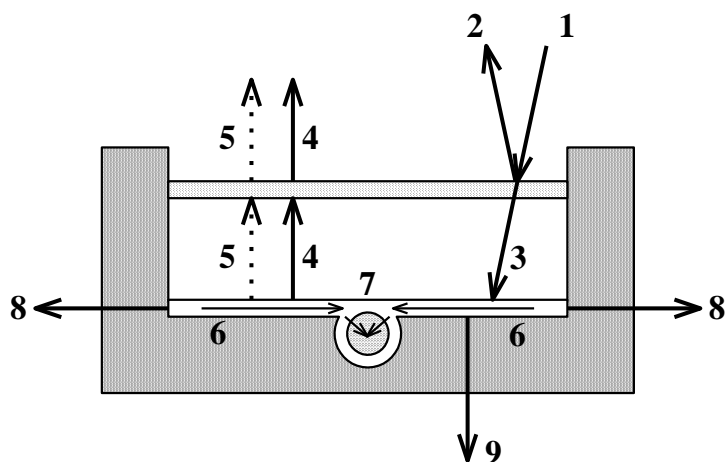


Рис. 1. Основные энергетические потоки в плоском солнечном коллекторе: 1 – падающее солнечное излучение, 2 – отраженное излучение (оптические потери), 3 – солнечное излучение, падающее на поглощающую панель, 4 – конвективные тепловые потери, 5 – радиационные тепловые потери, 6 – перетоки тепла по поглощающей панели, 7 – теплопередача от панели к теплоносителю, 8 – тепловые потери через боковые стенки, 9 – тепловые потери через заднюю стенку

Солнечный водонагреватель аккумуляционного типа отличается тем, что в нём функции поглощения солнечной энергии и накопления полученного тепла выполняет единое устройство, а поглощающая панель является одной из стенок бака-аккумулятора. Такое совмещение функций позволяет построить принципиальную схему аккумуляционного СВУ, приведённую на рис. 2.

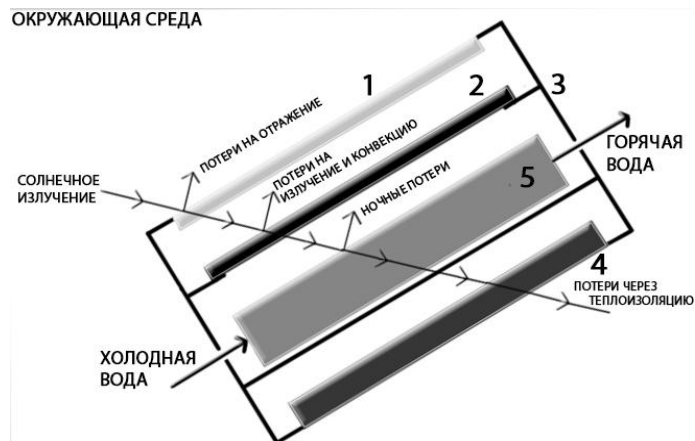


Рис. 2. Принципиальная схема СВУ аккумуляционного типа: 1 – остекление, 2 – поглощающая панель, 3 – корпус СВУ, 4 – теплоизоляция, 5 – бак с нагреваемой водой.

Солнечное излучение проходит через остекление (1) и попадает на поглощающую панель (2). Панель нагревается и отдает часть тепловой энергии воде в баке-аккумуляторе (5). Нагреваемая вода поднимается вверх вдоль поглощающей панели, что приводит к возникновению температурной стратификации. Горячая вода скапливается в верхней части бака-аккумулятора СВУ. В периоды недостаточной для нагрева воды в аккумуляционной СВУ интенсивности солнечного излучения циркуляция воды в баке не прекращается, но изменяется её направление, и вода в баке-аккумуляторе выхолаживается через остекление. Направление циркуляции

возобновляется, если интенсивность солнечного излучения возрастает до необходимого уровня.

Использование полимерных и композиционных материалов позволяет упростить конструкцию аккумуляционной СВУ и снизить её стоимость путём замены сварки, пайки, механообработки и сборки сложной конструкции формованием крупных деталей из полимерного композита и их склейкой. Можно также отказаться от корпуса установки как отдельного элемента, совместив его с одной из стенок бака-аккумулятора. В результате получается схема, приведённая на рис. 3.

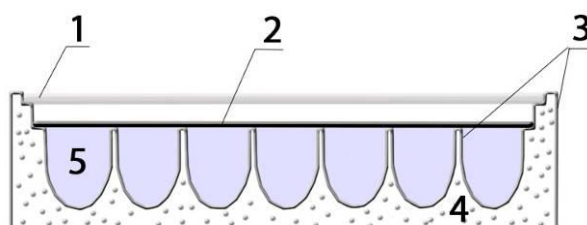


Рис. 3. Принципиальная схема СВУ аккумуляционного типа из полимерных композиционных материалов: 1 – прозрачная теплоизоляция, 2 – поглощающая панель, 3 – бак-аккумулятор/корпус СВУ, 4 – тыльная теплоизоляция, 5 – нагреваемая вода

Остекление (1) может быть выполнено из гнutoго по дуге большого диаметра листа прозрачного пластика (предпочтителен поликарбонат). Изогнутая форма обеспечивает жёсткость остекления и позволяет использовать тонкий лист, обладающий высокой прозрачностью при низкой стоимости. Поглощающая панель (2) выполняется из фольги с покрытием, поглощающим солнечное излучение, и возможно армируется стеклотканью. Если прочности панели будет недостаточно, панель можно выполнить неплоской формы из стеклопластика и покрыть специальной краской. Несущей деталью СВУ является совмещённый с задней стенкой бака корпус (3), который предполагается изготавливать из стеклопластика. Тыльная теплоизоляция, составляющая единое целое с корпусом, изготавливается из вспенивающегося материала, причём в качестве формы используется сам корпус. Поскольку для изготовления тыльной теплоизоляции предполагается применять материал с закрытыми порами (пеноэпоксид), задняя стенка корпуса не требуется. В результате склейки поглощающей панели и корпуса образуется секционированный бак СВУ, заполненный нагреваемой водой (5), а после приклеивания к корпусу остекления лицевая сторона СВУ получает прозрачную теплоизоляцию, создаваемую воздушной прослойкой между остеклением и поглощающей панелью. В результате установка состоит всего из трёх деталей, которые склеиваются при сборке, и тыльной теплоизоляции из вспениваемого материала.

Отказ в схеме установки от отдельного несущего корпуса СВУ и изготовление установки всего из трёх основных деталей позволяет сократить число технологических операций при её производстве и, в конечном счёте, её себестоимость. Схема разработанного и изготовленного полноразмерного макета такой установки апертурной площадью $1,44 \text{ м}^2$ приведена на рис. 4, а общий вид изготовленного макета для экспериментальных исследований гидродинамических процессов и теплообмена в баке-аккумуляторе – на рис. 5.

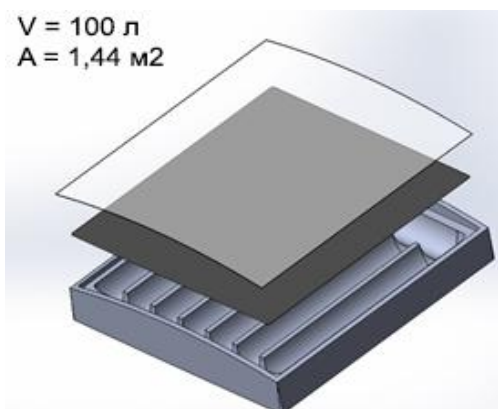


Рис. 4. Полноразмерный макет СВУ



Рис. 5. Общий вид макета СВУ для исследования гидродинамических процессов и теплообмена в баке установки

Последний отличается тем, что его композитная поглощающая панель оснащена тканевыми нагревательными элементами. Панель изготовлена методом вакуумной инфузии, корпус макета – ручным формованием на предварительно изготовленной матрице. В серийном производстве корпус предполагается изготавливать методом горячего прессования, обеспечивающим минимальную стоимость изделия при годовом объёме производства 5...20 тыс. шт.

Тыльная сторона корпуса макета заливалась пеноэпоксидом низкой плотности. После заливки корпуса производилось отверждение пеноэпоксида при комнатной температуре. В это же время происходило его вспенивание.

Из технико-экономических соображений могут быть отобраны два основных вида продуктов, которые позволяют обеспечить создание СВУ с селективным покрытием поглощающей панели:

1. Покрытия, которые возможно наносить без дополнительного оборудования (селективные краски). Селективные краски представляют собой комбинацию металла и диэлектрика, как правило, получаемую гальваническим методом (сульфид никеля – сульфид цинка, медь – оксид меди, хром – оксид хрома). Такая комбинация обеспечивает хорошо поглощающую солнечное излучение чёрную матрицу диэлектрика и не позволяет испускать (отражает за счет металлических частиц) собственное инфракрасное излучение.

2. Готовые полуфабрикаты – фольга с нанесённым селективным покрытием. Последнее, как правило, наносится в вакууме (иногда гальваническим способом) и представляют собой многослойное покрытие, нанесенное на металлическую фольгу (медь, алюминий, сталь). Как правило, покрытие имеет в своем составе три слоя:

верхний противоотражающий слой, промежуточный поглощающий слой и нижний слой, отражающий инфракрасное излучение.

Оба вида продуктов имеют как плюсы, так и минусы. Нанесенные краски более дешевы в расчете на квадратный метр, однако обычно обладают худшими характеристиками с точки зрения устойчивости к внешнему воздействию, поглощательной и излучательной способностей. Фольга с нанесенным покрытием, как правило, более эффективна с технической точки зрения, так как наносится с помощью специального оборудования в крупносерийном производстве. Однако в её стоимость входит амортизация этого оборудования, также необходима транспортировка фольги, существенно более дорогая, чем транспортировка краски (в России такая фольга, как и селективные краски, не производятся), поэтому такой вариант является более дорогостоящим.

Нанесение селективного покрытия на поглощающую панель СВУ предполагается выполнять окраской панели в штампе (для селективной краски) или её формованием совместно с металлической фольгой с селективным покрытием. Оба метода позволяют изготовить поглощающую панель СВУ с качественным покрытием с высокой адгезией. Окончательный выбор того или иного метода в производстве будет определяться характеристиками покрытий на фольге или краски на композите.

Отработку на экспериментальных образцах конструкции СВУ аккумуляторного типа и технологии её производства предполагается выполнить к концу 2016 г. Себестоимость разрабатываемой установки при объёме производства 5...20 тыс. шт. в год должна составить 6...8 тыс. руб.

Литература

1. Mauthner F., Weiss W. Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to the Energy Supply 2012. 2014 ed. // 2014. <http://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>
2. Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. с англ. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект». 2013. 888 с.