

ISSN 2222-517X

Ежемесячное обозрение

Февраль-март, 2013 (№20)

НАУКА ЗА РУБЕЖОМ

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ НАУКИ РАН

ТЕХНОЛОГИИ СОЛНЕЧНОГО НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ



www.issras.ru/global_science_review

Наука за рубежом

№ 20, февраль-март 2013

Ежемесячное обозрение

Электронное издание:

www.issras.ru/global_science_review

Рубрика **«Энергетика и транспорт»**

Обзор выполнил **Н. А. Трофимов**

Выпускающее подразделение: **Сектор анализа зарубежной науки**

Руководитель проекта **Л. К. Пипия**

Редактор **О. Е. Осипова**

Верстка: **Н. В. Шашкова**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Используемые SHC-технологии	8
2. Перспективы развития SHC-технологий до 2050 г.	11
ПРИЛОЖЕНИЕ	14
Рис. 1. Типы солнечных коллекторов и температура их работы в зависимости от области применения	14
Рис. 2. Прогноз роста использования солнечной энергии для нагрева и охлаждения	14
Рис. 3. Карта ресурсов солнечной энергии, достигающей поверхности Земли	15
Рис. 4. Общая мощность солнечных водонагревательных коллекторов, применяемых в 10 ведущих странах мира	15
Рис. 5. Схемы плоского и трубчатого коллекторов	16

Технологии получения солнечной энергии для обогрева и охлаждения сегодня находятся преимущественно на стадии демонстрации прототипов. Однако в перспективе они могут завоевать значительную долю рынка, конкурируя с более традиционными технологиями использования солнечной энергии, включая пассивное энергосбережение. При этом основными факторами, влияющими на распространение данных технологий, являются климатические условия, уровень развитости инфраструктуры и близость потребителей солнечной тепловой энергии, экономическая целесообразность, наличие свободных площадей в сельской и городской среде обитания.

Введение

Изданный в июле 2012 г. Международным энергетическим агентством ОЭСР (IEA) прогноз (технологическая дорожная карта) посвящен перспективам развития на период до 2050 г. одного из секторов солнечной энергетики – технологий использования солнечной энергии для нагрева и охлаждения (SHC-технологии¹) [1].

Технологии солнечной энергетики образуют большое семейство разнообразных технологий с широким спектром применения, включая освещение, генерацию электроэнергии и производство топлива. Данный прогноз целиком направлен на изучение перспектив SHC-технологий, в том числе таких как: солнечные водонагреватели, индивидуальные и коллективные комбинированные системы для горячего водоснабжения и отопления помещений, системы центрального отопления, охлаждения и кондиционирования воздуха, системы нагрева, кондиционирования, хладоснабжения в промышленных технологических процессах², коллекторы для нагрева бассейнов. В обзоре также затронуты некоторые другие SHC-технологии, например технология обработки и опреснения воды.

¹ От англ. Solar Heating and Cooling.

² Солнечный нагрев используется в промышленности прежде всего для низкотемпературных процессов (<120°C) на транспортном оборудовании, в машиностроении, пищевой, текстильной и сельскохозяйственной (сушка зерна) отраслях.

В обзоре не рассматриваются так называемые пассивные технологии солнечного нагрева: например технологии теплоизоляции и защиты от избыточного солнечного света в условиях жаркого климата и технологии максимального использования прямого солнечного излучения для обогрева зданий в условиях холодного климата. Данные технологии обладают существенным потенциалом для экономии энергии, однако они в корне отличаются от активных SHC-технологий, которые эффективнее используют солнечную энергию и работают в широком диапазоне температуры – от 25 до 1000°С (рис. 1).

По мнению экспертов, SHC-технологии в перспективе могут способствовать развитию и широкому внедрению солнечной энергетики, тем самым внося вклад в энергетическую безопасность и устойчивое экономическое развитие, а также в сокращение выбросов углерода. Данные технологии включают как относительно давние технические решения, используемые преимущественно в бытовых водонагревателях, так и более современные изобретения, в том числе в области термических процессов для систем охлаждения, значительная часть которых находится на стадии разработки прототипов и демонстрационных образцов.

Согласно прогнозу, к 2050 г. развитие и распространение SHC-технологий сможет обеспечить ежегодное производство тепловой энергии в объеме около 16,5 ЭДж, или 4583 ТВт/ч, что соответствует примерно 394 млн т нефтяного эквивалента (рис. 2). При этом солнечные коллекторы для водонагревателей и теплоснабжения достигнут суммарной мощности около 3500 ГВт, удовлетворив энергетические потребности в 8,9 ЭДж, а солнечные коллекторы для низкотемпературного (менее 120°С) промышленного применения обеспечат приблизительно 7,2 ЭДж. Около 1,5 ЭДж тепловой энергии будет приходиться на системы охлаждения и кондиционирования и еще 400 ПДж – на солнечное отопление бассейнов. В целом энергия объемом 16,5 ЭДж позволит обеспечить приблизительно 16% глобального спроса на низкотемпературную тепловую энергию (менее 100°С).

Распространение SHC-технологий позволит в целом сократить ежегодные выбросы CO₂ на 800 млн т. По имеющимся оценкам, эмиссия

парниковых газов на протяжении жизненного цикла³ современного солнечного водонагревателя составляет около 700 кг CO₂. Данный объем выбросов полностью компенсируется уже после двух лет функционирования системы за счет экономии от использования энергии солнца. Таким образом, выбор солнечного водонагревателя позволяет сократить приблизительно на 80% отрицательное воздействие на экологию по сравнению со стандартным электронагревателем и на 50% – по сравнению с газовым водонагревателем.

Успешному распространению рассматриваемых технологий будут способствовать исследования и разработки, направленные на совершенствование существующих технологий, повышение функциональности плоских солнечных коллекторов, в том числе для их работы в среднетемпературном диапазоне (от 100 до 400°C), развитие технологий концентрирования солнечного излучения, а также технологий компактных накопителей (аккумуляторов) тепловой энергии и солнечного охлаждения и кондиционирования.

Технологии нагрева воды в быту или поддержания заданной температуры в бассейне используются уже достаточно давно. Большая часть других технологий, включая системы для районного центрального отопления, интегрированные с солнечной энергетикой, а также SHC-технологии для промышленных процессов, находятся на стадии демонстрационных образцов и при благоприятно складывающейся конъюнктуре рынка вскоре могут быть коммерциализированы. В то же время некоторые из них, прежде всего технологии охлаждения и кондиционирования воздуха, по-прежнему нуждаются в существенных инвестициях для проведения исследований и разработок, направленных на повышение их эффективности и получение прототипов, пригодных к запуску в серийное производство.

Трудно переоценить значение солнечной энергетике, поскольку, по имеющимся данным, спрос на тепловую энергию составляет около 47% конечного глобального энергопотребления, что превышает суммарную долю спроса на электроэнергию (около 17%) и энергию для транспорта (около

³ Жизненный цикл включает изготовление системы, ее установку, сервисное обслуживание, транспортирование и утилизацию.

27%). Распределение солнечной радиации, доступной для использования в энергетике, по поверхности Земли приведено на рис. 3. Составленная по спутниковым данным карта показывает, что потенциал солнечной энергетики достаточно велик и ограничивается только наличием свободных территорий (или поверхностей зданий) и близостью инфраструктурных объектов и потребителей.

Несмотря на то что солнечные водонагреватели в быту используются с давних времен, они стали широко применяться лишь в 1960-е гг. в Австралии, Японии и Израиле. К концу 2010 г. общая мощность солнечных коллекторов составила более 195 ГВт (рис. 4), а их площадь превысила 279 млн м². Уже к концу 2011 г. этот показатель возрос на 25%, составив 245 ГВт.

Наиболее активно SHC-технологии внедряются в Китае. По итогам 2010 г. общая мощность солнечных энергоустановок превысила 117 ГВт, хотя еще в 1998 г. она составляла чуть более 10 ГВт. Планом развития экономики Китая на 12 лет предусмотрено увеличить общую мощность солнечной тепловой энергетики до 280 ГВт к 2015 г. и до 560 ГВт – к 2020 г.

Затраты на установку системы горячего водоснабжения для частного хозяйства составляют 250–2400 долл. США/кВт. Более крупные системы центрального отопления жилых домов обходятся в 350–400 долл. США/кВт. При этом цены на тепловую энергию составляют 35–40 долл. США/МВт·ч.

Внедрение SHC-технологий для охлаждения только набирает обороты. В 2011 г. по всему миру было установлено порядка 750 систем охлаждения, в том числе несколько крупных. Например, в Португалии была внедрена система мощностью 400 кВт, с коллектором площадью 4560 м², в Сингапуре – система мощностью 1470 кВт, с коллектором площадью 3900 м². Затраты на установку систем охлаждения оцениваются в 1600–3200 долл. США/кВт.

Кроме того, SHC-технологии применяются при опреснении воды методом дистилляции. Дистилляция по ряду характеристик превосходит технологию обратного осмоса, но при этом связана со значительными затратами

тепловой энергии. Выбор SHC-технологий для опреснения оправдан в том случае, когда вода имеет высокие показатели солености.

1. Используемые SHC-технологии

В настоящее время на рынке представлено большое количество разнообразных солнечных коллекторов, не использующих технологию концентрирования солнечного излучения. Такие коллекторы подразделяются на плоские и трубчатые⁴. В свою очередь, плоские коллекторы могут быть застекленными и незастекленными.

Как правило, незастекленные коллекторы экономически целесообразно использовать для нагрева воды и отопления бассейнов, а также в сельском хозяйстве для сушки зерна. Данный тип коллекторов не имеет специального стеклянного корпуса, существенно удорожающего конструкцию, и изготавливается из недорогих материалов, преимущественно пластика, полиэтилена и резины. У застекленных коллекторов более высокий КПД, но они не всегда экономичны. Часто такой тип коллекторов используется для нагрева кондиционированного (циркулирующего) воздуха в помещениях; они могут быть встроены в фасады зданий.

Различие в устройстве плоских и трубчатых коллекторов схематически отражено на рис. 5. В основном современные коллекторы покрываются селективным абсорбером⁵, позволяющим сократить тепловые потери коллектора вследствие обратного излучения в инфракрасном диапазоне. В стандартных трубчатых коллекторах селективное покрытие, поглощающее солнечную радиацию, наносится на внешнюю сторону внутренней трубки. Между внешней и внутренней стеклянными трубками находится вакуумная прослойка, которая сохраняет порядка 95% улавливаемой тепловой энергии. Солнце нагревает теплопередающую жидкость (обычно воду), находящуюся в нижней части трубки, пары которой поднимаются вверх и конденсируются, передавая тепло коллектору через теплообменник.

⁴ От англ. Evacuated tube collector – вакуумный трубчатый коллектор. Такой тип коллекторов классифицируется также как прямоточные вакуумные трубки. Наиболее известна прямоточная трубка сиднейского типа (Sydney tube), названная так по месту изобретения. Сиднейские трубки представляют собой вакуумные колбы термосного типа. Данный тип устройств является основным продуктом на рынке SHC-технологий в Китае.

⁵ Абсорбер – элемент, поглощающий солнечное излучение.

СНС-технологии, концентрирующие солнечное излучение при помощи линз или зеркал, используются в основном для генерирования высокотемпературной тепловой энергии. Данный тип энергии позволяет, например, приводить в действие паровые турбины для выработки электроэнергии. Эти технологии применяются также в теплоэлектростанциях комбинированного типа. Как правило, такие гелиоустановки оснащаются системами слежения за солнцем по одной или двум осям. Однако на рынке представлены и более простые технологии концентрирования солнечного света для стационарного и домашнего использования (без слежения за положением солнца), например параболические концентраторы, позволяющие повысить эффективность как плоских, так и трубчатых коллекторов при небольшом коэффициенте концентрации (< 2).

СНС-технологии охлаждения и кондиционирования воздуха связаны с оптимизацией так называемых термических холодильных систем⁶. Они подразделяются на два вида солнечных охладителей: а) с замкнутым циклом и б) с открытым циклом.

Представленные на рынке охладители замкнутого цикла работают на основе принципа сорбции: жидкий или газообразный материал либо наносится на твердую или пористую субстанцию (адсорбция), либо на основе жидкости и абсорбента превращается в твердый материал (абсорбция).

В то время как системы с замкнутым циклом производят охлажденную воду, которая впоследствии подается в устройства охлаждения воздуха⁷, системы с открытым циклом непосредственно охлаждают воздух с заданными параметрами кондиционирования (например, влажности) благодаря испарительному охлаждению в комбинации с предварительным осушением воздуха при помощи абсорбентов влаги.

СНС-технологии осушительно-испарительных охладителей на основе твердых абсорберов-осушителей нашли широкое применение на рынке охладительных систем для супермаркетов в США. Охлаждение и кондиционирование воздуха в помещениях с использованием энергии солнца имеет и еще одно важное преимущество: пик солнечного излучения

⁶ От англ. – Thermally-driven cooling system.

⁷ Например, охлаждающие балки (chilled beams), конвекторы терморегуляции (fancoils).

приходится на период максимального спроса на охлажденный воздух. В зимний сезон охладительные системы могут использоваться для горячего водоснабжения и отопления помещений. В солнечных системах охлаждения, как и в других системах охлаждения с циклами абсорбции, не применяются опасные для атмосферы хладагенты CFCs и HCFCs, что выгодно отличает их от электрических компрессионных холодильников.

Среди основных вспомогательных⁸ SHC-технологий – способы совершенствования аккумуляторов тепловой энергии. Именно нехватка недорогих и компактных аккумуляторов – одно из главных препятствий в распространении комбинированных систем нагрева воды и отопления для частных хозяйств, которые могут обеспечивать до 30% экономии ископаемых энергоносителей, используемых в этих целях. На сегодняшний день различают четыре основных вида технологий аккумуляции: а) теплоемкостная аккумуляция, б) аккумуляция с фазовым переходом, в) аккумуляция на базе сорбции, г) термохимическая аккумуляция.

Теплоемкостная аккумуляция основана на способности веществ накапливать энергию при нагревании. По показателям удельной теплоемкости одной из лучших и, следовательно, наиболее распространенных теплоаккумулирующих жидкостей является вода.

Аккумуляция с фазовым переходом основана на использовании обратимого процесса фазового перехода плавление/отвердевание или испарение/конденсация. Технологии с фазовым переходом более сложные и менее распространены. В таких аккумуляторах на единицу объема накапливается большее количество теплоты. При этом процесс зарядки и разрядки осуществляется в узком температурном диапазоне, а хранение тепла осуществляется в основном в низкотемпературном режиме.

При аккумуляции на базе сорбции происходит процесс сорбции-десорбции паросорбционным материалом: жидким (абсорбция) или твердым (адсорбция). Данные технологии еще недостаточно развиты, однако в перспективе плотность аккумуляции в таких системах может в четыре раза превысить показатели традиционных теплоемкостных аккумуляторов.

⁸ От англ. enabling technology.

Термохимическая аккумуляция основана на обратимой химической реакции, протекающей с выделением-поглощением тепла. Этот способ позволяет запастись тепловой энергии на единицу массы на порядок больше, чем теплоемкостные аккумуляторы, но сложен в реализации. В настоящее время в качестве основных реагентов исследуются соли, которые можно использовать и в гидратизированном, и в безводном состоянии.

2. Перспективы развития SHC-технологий до 2050 г.

Согласно мнению экспертов, в ближайшем будущем необходимо проводить исследования и разработки по совершенствованию существующих SHC-технологий и созданию принципиально новых.

Наряду с возможной интеграцией SHC-технологий с пассивными энергосберегающими технологиями, используемыми при разработке дизайна и архитектурных проектов зданий, предстоит разработать многофункциональные строительные компоненты, которые одновременно являлись бы и элементами архитектуры и эффективными солнечными коллекторами. При этом при планировании размещения солнечных коллекторов на вертикальных поверхностях важно также учитывать взаимное расположение зданий и объектов инфраструктуры для предотвращения нежелательного затемнения. Необходимо разработать новые виды пластиковых, полимерных и других функциональных покрытий для абсорберов, которые были бы устойчивы к температурам стагнации⁹ и воздействию ультрафиолетового излучения.

Развитие гибридных технологий должно быть направлено на максимальную интеграцию PV-T-коллекторов¹⁰, SHC-технологий, тепловых насосов и бойлеров на основе биомассы. PV-T-коллекторы представляют собой одно из наиболее перспективных направлений исследований, поскольку они в состоянии повысить эффективность коллекторных устройств, сначала преобразуя солнечное излучение в электричество, а затем исполь-

⁹ Температура стагнации – температура, при которой передающее тепло вещество перестает функционировать (например, циркулировать в случае с жидкостью) и/или подвергается дегенерации, при этом кинетическая энергия переходит во внутреннюю энергию вещества и способствует росту локальной статической энтальпии.

¹⁰ PV-T-коллекторы (от англ. photovoltaic/solar thermal hybrid collectors) – гибридные коллекторы с использованием технологий фотовольтаики и аккумуляции термальной энергии солнца.

зую накопленную термальную энергию для отопления помещений, нагрева воды или охлаждения и кондиционирования воздуха.

Использование СНС-технологий одновременно с бойлерами биомассы¹¹ способно полностью обеспечить работу отопительных систем возобновляемыми источниками энергии. Данные технологии уже доступны, однако из-за нехватки на рынке готовых систем, совмещающих функционал этих двух технологий, для каждого потребителя индивидуально разрабатываются дизайнерские варианты и изготавливаются энергосистемы, что ведет к увеличению затрат. Таким образом, оптимальным решением для рынка могла бы стать разработка таких систем «под ключ».

На ранней стадии разработки находятся перспективные технологии аккумуляции тепловой энергии, прежде всего те из них, которые способны обеспечить межсезонный запас тепла. Для решения этой проблемы предпринимаются попытки применения гибридных теплоэнергетических систем и PV-T-коллекторов. Существующие технологии аккумуляции тепла должны соответствовать стандартам и обеспечивать максимальную плотность и компактность хранения тепловой энергии. Крайне важным является разработка новых материалов со свойствами сохранения тепла при фазовом переходе и при обратимых термохимических реакциях. Для решения этой задачи потребуется сотрудничество с другими промышленными отраслями, например для тестирования и изучения жизненного цикла материалов с улучшенными свойствами.

Значительный интерес представляют разработки коллекторов, эффективно собирающих и накапливающих тепловую энергию в температурном диапазоне 100–250°C, который до сих пор остается неохваченным.

Среди актуальных задач – адаптировать СНС-технологии концентрированного типа к меньшим масштабам (например, для частных домов) и температурным режимам. Одновременно с этим важно предусмотреть возможности для интеграции технологий данного типа в архитектурные элементы зданий и их использования с целью охлаждения помещений.

В области технологий охлаждения значительное внимание уделяется увеличению совокупной эффективности (КПД) солнечных охладителей, в том числе эффективности их электрических подсистем. Достичь этого

¹¹ Паровые котлы для сжигания биомассы (биотоплива).

можно путем разработки новых тепловых циклов, оптимизации систем селективной защиты от инфракрасного излучения, сокращения паразитных токов и паразитных потерь энергии. Кроме того, важны разработки в целях большей миниатюризации и компактности систем охлаждения, а также создания стандартных коммерческих продуктов для частных и небольших хозяйств.

Приложение

Рисунок 1. **Типы солнечных коллекторов и температура их работы в зависимости от области применения**

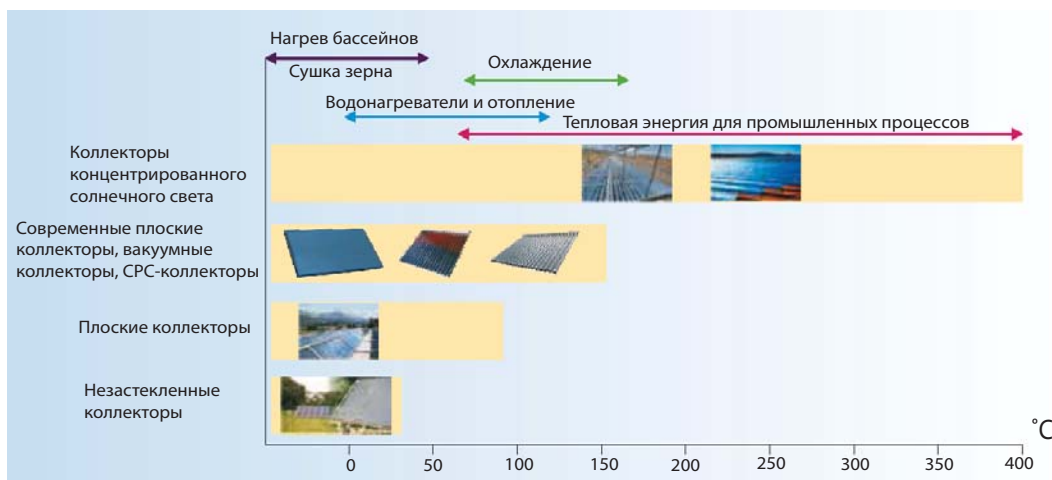


Рисунок 2. **Прогноз роста использования солнечной энергии для нагрева и охлаждения**

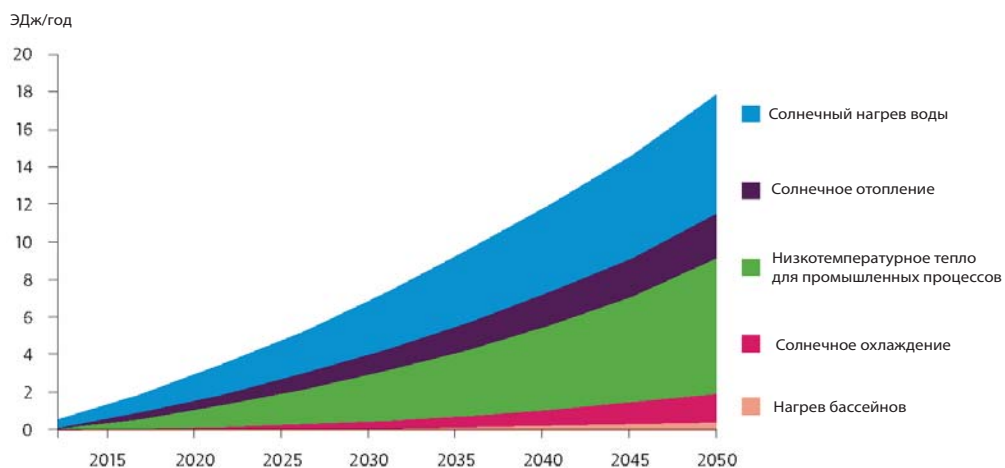
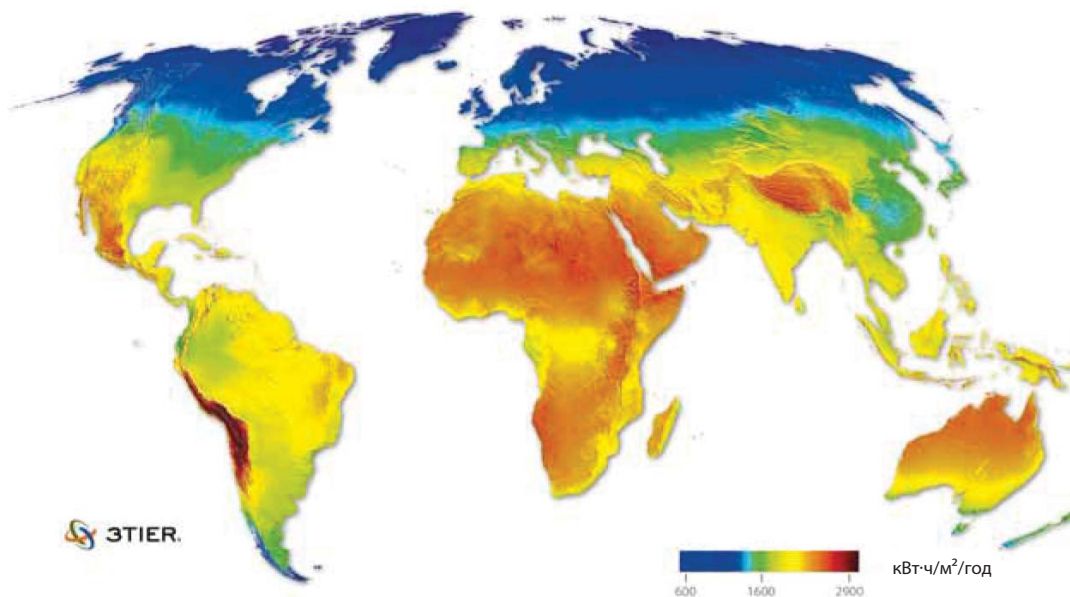


Рисунок 3. Карта ресурсов солнечной энергии, достигающей поверхности Земли*



*Прямое и рассеянное солнечное излучение.

Рисунок 4. Общая мощность солнечных водонагревательных коллекторов, применяемых в 10 ведущих странах мира

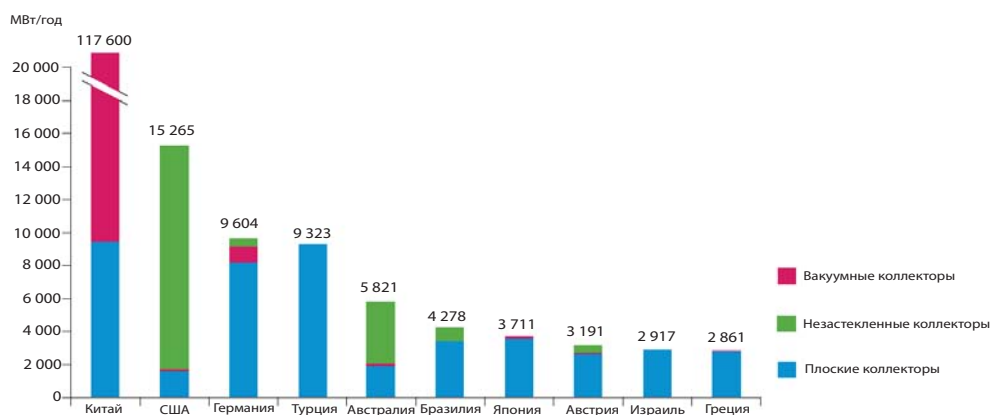


Рисунок 5. Схемы плоского и трубчатого коллекторов



Обзор выполнен на основе следующих публикаций:

1. OECD/IEA (2012), Solar Heating and Cooling. Technology Roadmap. IEA Publications. www.iea.org

Тематические рубрики ежемесячного обзора

Аэронавтика и космос

Биотехнологии и генетика. Сельское хозяйство,
пищевая и химическая промышленность

Информационные и телекоммуникационные технологии
и вычислительная техника

Исследования в области ядерной и квантовой физики

Медицинские технологии и оборудование

Нанотехнологии и новые материалы, микроэлектроника

Социальные и экономические науки и статистика

Энергетика и транспорт