

Солнечные коллекторы плоского типа с абсорбером из тонколистовой коррозионно-стойкой стали

Предмет и методы исследования

Главной отличительной особенностью коллектора является использование тонколистовой коррозионно-стойкой стали толщиной 0,3–0,5 мм для изготовления штампосварной теплоприёмной панели коллектора. Новая высокоэффективная технология изготовления теплоприёмной панели путём получения каналов методом локального деформирования на специальном оборудовании — станах локальной формовки, защищённых патентами РФ [1–11]. Данная технология позволяет получать каналы практически любой формы глубиной от 3 до 20 мм в зависимости от толщины исходного металла и ширины канала с высокой производительностью до 2 м²/мин. При этом используются тонколистовые материалы толщиной до 0,3 мм, что позволяет снизить массу панели на 30–45 % по сравнению с аналогичными штампованными японскими панелями. На рис. 1 представлен один из вариантов солнечного коллектора с панелью новой конструкции.

Другой отличительной особенностью нового коллектора является использование специально разработанного селективного покрытия. В качестве базы для этого покрытия была принята технология, используемая в космических станциях «Алмаз», разработанная в НПО «Машиностроение». Селективное покрытие наносится методом вакуумного магнетронного распыления.

В качестве несущего слоя служит алюминий, на который во второй вакуумной камере после процесса ионно-плазмен-

Новая высокоэффективная технология изготовления теплоприёмной панели путём получения каналов методом локального деформирования на специальном оборудовании — станах локальной формовки, защищённых авторскими патентами Российской Федерации

ной очистки панели из газовой среды методом плазменного осаждения наносится трёхслойное селективное покрытие: первым слоем осаждается кремний из кремнийсодержащих сред для создания хорошей адгезии последующих слоёв; вторым слоем осаждается углерод из углеродсодержащей среды, который обеспечивает высокую способность поглощения; третий слой — просветляющий, предназначенный для уменьшения коэффициента отражения от поверхности. Такое покрытие обеспечило высокий коэффициент поглощения при малом коэффициенте собственного излучения.

Испытания данного покрытия по специальной программе на воздействие эксплуатационных факторов, включающей испытания на влажность, тепло и холод, циклическое изменение температуры, а также на ударное воздействие температуры, проведённые в специальной лаборатории Лётно-исследовательского института (ЛИИ им. М.М. Громова), показали его высокие эксплуатационные характеристики с гарантированным сроком эксплуатации более 10 лет.

УДК 697.329.006.354

Солнечные коллекторы плоского типа с абсорбером из тонколистовой коррозионно-стойкой стали

И. Е. Семёнов, д.т.н., профессор; **С. Н. Рыженко**, к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана совместно с Центральным аэрогидродинамическим институтом им. проф. Н.Е. Жуковского проводит работы по созданию новых установок использования солнечной энергии. В настоящее время создана новая конструкция плоского солнечного коллектора, соответствующего лучшим немецким, американским и японским коллекторам этого типа. Солнечный коллектор создан с использованием современных авиакосмических технологий и оборудования, что позволило значительно уменьшить затраты на производство, а также снизить себестоимость коллектора в полтора-два раза по сравнению с аналогичными коллекторами зарубежных фирм.

Ключевые слова: солнечный коллектор, абсорбер, селективное покрытие, коэффициент поглощения, локальная формовка.

UDC 697.329.006.354

Solar collectors of flat type with an absorber from corrosion-proof steel

I. E. Semenov, Doctor of Engineering Sciences, Professor; **S. N. Ryzhenko**, PhD, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University

Solar collectors (SC), due to direct transformation of a solar energy to thermal energy of the heat-carrier which is taking place in channels absorber of the panel of a collector, have efficiency up to 60 % (for flat collectors). The main lack of a flat solar collector should be counted his high cost price. This circumstance results to that cost for the end user 1 sq. meters of a solar collector can reach \$500 and it, in turn, increases times of recovery of outlay till 10 years and more. Therefore rather actual the problem of creation of a new design of a collector and economic technology of his manufacturing is represented, allowing to reduce the cost price of 1 sq. meters by 30–40 %. We developed, produced and tested experimental variants of new design SC with absorber the panel from тонколистовой stainless steel with the area of a surface of 1 sq. meter and 2 sq. meters. The lead calculations and tests have shown, that the cost price of an industrial sample of installation of transformation of a solar energy in thermal energy will make no more than 60–70 % from a base variant flat SC, that will allow to organize manufacture and selling of such installations not only abroad, but also in Russia. The new collector has the effective area 2 sq. meters, efficiency not less than 50 % (according to a part 4 DIN 4757 Germany), working pressure not less than 400 KPa, one layer of transparent isolation, working volume of 2.5–5.0 litres (depending on a design of an absorber), a selective covering of an absorber, service life not less than 10 years. Natural tests of new collectors are lead in structure of the household installations, showing their high efficiency.

Keywords: solar collector, absorber, selective coating, absorption coefficient, local molding.

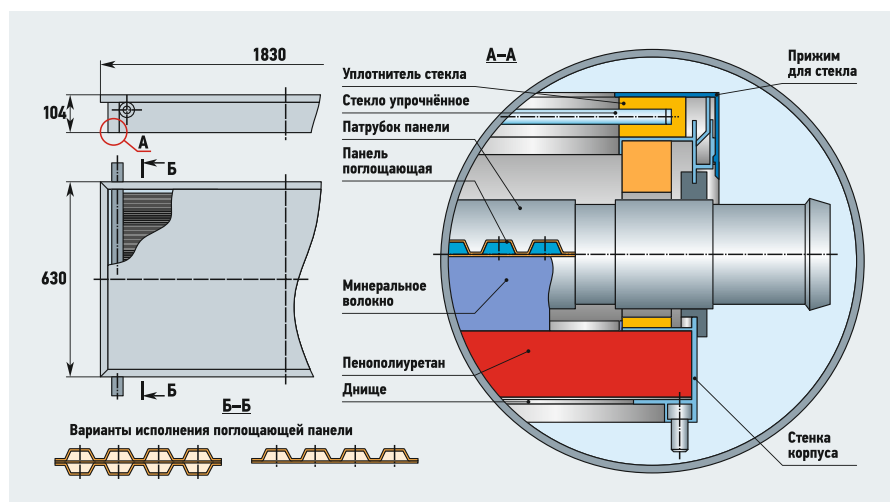


Рис. 1. Конструкция солнечного коллектора с площадью абсорбера 1 м²

Испытания различных модификаций солнечных коллекторов проводились в натуральных условиях (опыт 20-летней эксплуатации в условиях полигона в Московской области) и в различных независимых специализированных лабораториях: в лаборатории испытания солнечных коллекторов Института физики высоких температур (город Махачкала); в лаборатории Высшей школы (город Ульма, Германия); в лаборатории Центрального аэрогидродинамического института ЦАГИ (город Жуковский).

Натурные испытания проводились на установках следующих типов: 1 — один коллектор (тип А) + бак на 70 л без теплообменника; 2 — два коллектора (тип Б) + бак на 110 л с теплообменником; 3 — два коллектора (тип А) + бак на 110 л без теплообменника; 4 — четыре коллектора (тип Б) + бак на 200 л с теплообменником;

5 — четыре коллектора (тип Б) + бак на 300 л с теплообменником.

В процессе испытаний замерялся расход теплоносителя, температура теплоносителя на входе и выходе из коллектора, температура воды в баке на трёх уровнях, температура окружающей среды, скорость ветра. На рис. 2 представлены результаты испытаний установки третьего типа с двумя коллекторами и баком-аккумулятором на 110 л воды, полученные в середине 15 апреля 2010 года и 30 июня 2010 года при ясной погоде и скорости ветра около 3,5 м/с.

В Махачкале (ИФТАН АН) и Жуковском (ЦАГИ) на стендах с искусственным солнцем по методике, разработанной Институтом физики высоких температур АН РФ, проведены следующие испытания: контроль герметичности; влагонепроницаемость; тепловые испытания

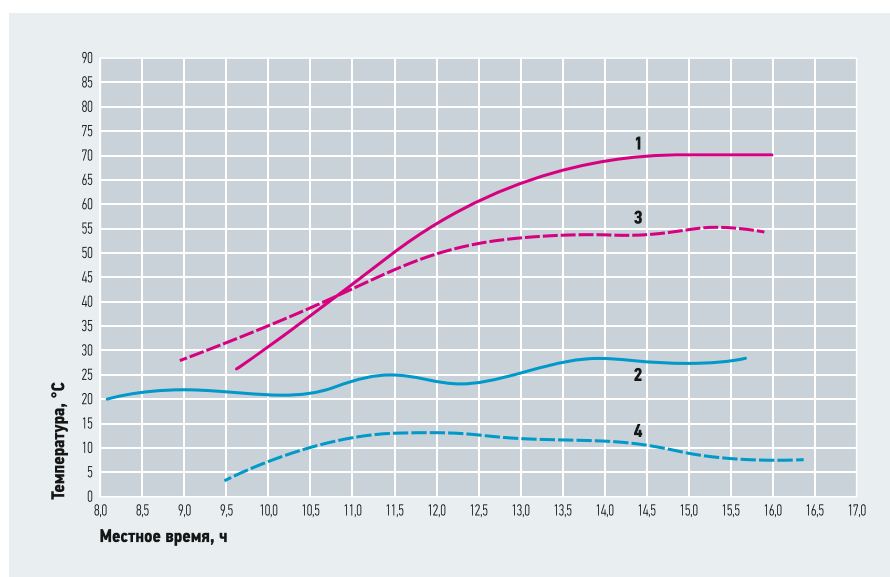


Рис. 2. Результаты испытаний установки с двумя коллекторами и баком на 110 л воды, полученные 15.04.2010 и 30.06.2010 при ясной погоде и средней скорости ветра 3 м/с [1 — температура воды в баке (июнь); 2 — температура окружающего воздуха (июнь); 3 — температура воды в баке (апрель); 4 — температура окружающего воздуха (апрель)]

(постоянная времени и кривая КПД); гидравлические испытания (определение гидравлического сопротивления); на предельный нагрев; на внутренний тепловой удар; на внешний тепловой удар; на внутреннее давление. Все модификации коллекторов успешно прошли все этапы испытаний. Последние отработанные модели имеют хорошие показатели по всем параметрам и не уступают лучшим японским коллекторам такого класса.

На рис. 3 представлена экспериментальная всесезонная установка горячего водоснабжения, установленная в Центральном аэрогидродинамическом институте и успешно эксплуатирующаяся с 1994 года.



Рис. 3. Экспериментальная всесезонная установка ГВС, установленная в ЦАГИ

Особенно следует отметить довольно низкую себестоимость коллектора «Радуга», которая позволяет продавать их на условия FOB города Санкт-Петербурга по цене не более \$120 за 1 м². Эти цены существенно ниже мировых цен на солнечные коллекторы такого типа. Например, в Великобритании стоимость плоских коллекторов фирмы Hitachi составляет более \$300 за 1 м². В Германии цены колеблются в зависимости от модели и фирмы в диапазоне от \$200 до \$300 за 1 м² коллектора. Для российских потребителей такие цены очень высоки, так как цена энергоносителей пока низка и потребителю выгоднее использовать традиционные виды нагревателей. Учитывая эту особенность российского рынка, мы разработали новую конструкцию плоского разборного солнечного коллектора с площадью теплоприёмной панели 2 м², имеющего более низкую себестоимость. Себестоимость снижается вследствие экономии материалов и сокращения трудоёмкости изготовления.

На рис. 4 приведена фотография данного коллектора.

На рис. 5 показана тепловая характеристика солнечного коллектора «Радуга-2». Основные технические характеристики данного коллектора «Радуга-2» приведены в табл. 1.

Следует отметить, что на сегодняшний день интерес потребителей к плоским солнечным коллекторам несколько уменьшился в связи с появлением на рынках, в том числе и российском, довольно дешёвых китайских вакуумных коллекторов, которые раньше покупались достаточно редко в связи с их высокой стоимостью. Однако постепенно китайские производители путём удешевления технологии производства добились вполне конкурентной цены на вакуумные коллекторы. На рынке их самые дешёвые модели лишь на 15–20% превышают стоимость плоских коллекторов, что при лучшей производительности у вакуумных коллекторов делает их более привлекательными для потребителей. Однако детальное исследование условий работы плоских и вакуумных коллекторов в условиях снежных зим позволяет рекомендовать покупать плоские коллекторы, в первую очередь

из-за способности их самоочищения от снега за счёт излучения тепла от поверхности теплоприёмной панели. А в случае налипания мокрого снега на вакуумные трубки такого самоочищения не происходит, и они могут быть очищены только при повышении температуры воздуха более 0°C. Поэтому эффективная работа вакуумных коллекторов в зимнее время находится под большим вопросом.

Выводы

Большие перспективы открываются в связи с низкой стоимостью коллектора «Радуга-2» в области применения плоских коллекторов в устройствах охлаждения и дистилляции, где требуются большие площади коллекторных панелей. Создан и успешно прошёл испытания лабораторный образец солнечного холодильника адсорбционного типа с твёрдым сорбентом (активированным углем) и хлад-



Рис. 4. Солнечный коллектор «Радуга-2»

Техническая характеристика солнечного коллектора «Радуга-2»

табл. 1

Параметр	Величина
Тип коллектора	плоский
Материал теплообменника	сталь 12Х18Н10Т
Толщина стенки теплообменника, мм	0,3–0,4
Поглощательная способность	0,94
Диапазон степени черноты	0,11–0,14
Тепловые потери, Вт/(м²·К)	4,40
Оптический КПД	0,84
Производительность коллектора, л/день	до 200
Температура нагрева воды, °С	до 95
Рабочее давление в системе, МПа	до 0,6
Масса, кг	42,2
Срок службы, лет	15–20
Габариты, мм	1990 × 1130
Полезная площадь коллектора, м²	2
КПД (DIN 4757, ч. 4, Германия), %	> 60

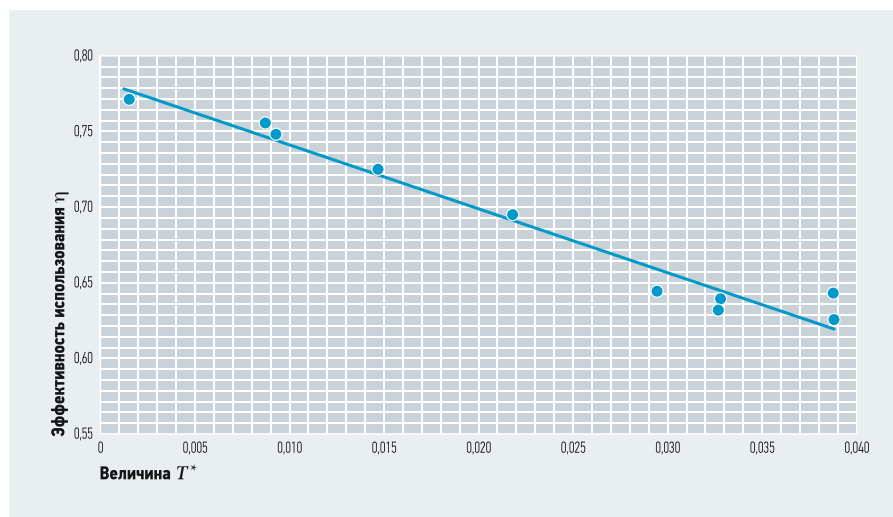


Рис. 5. Тепловая характеристика СК с эффективной площадью 2 м² [η — эффективность использования солнечной энергии, $T^* = (T_{\text{ср}} - T_a)/I$ (К·м²/Вт), где $T_{\text{ср}}$ — средняя температура воды в коллекторе; T_a — температура окружающего воздуха; I — плотность солнечной радиации]

агентом (спиртом), который работает в периодическом режиме: адсорбция ночью и десорбция днём. Испытания гелио-холодильника показали его работоспособность при температуре теплоносителя ниже 80°C. Также ведутся работы по созданию установки дистилляции и создан опытный образец, успешно прошедший лабораторные и натурные испытания.

Создание, производство и широкое применение этих установок позволит существенно образом улучшить экологическую обстановку за счёт уменьшения вредных выбросов в атмосферу Земли. ●

1. Семёнов И.Е. Локальная формовка эластичной средой // Вестник машиностроения, 1997. №5. С. 19–21.
2. Семёнов И.Е. Направления использования локального формообразования на малых предприятиях // Инженерный журнал, 1997. №2. 1997. №5. С. 8–11.
3. Патент РФ 2071853, МКИ5 В 21D 22/10. Устройство для изготовления изделий с выпукло-вогнутым рельефом из листового металла / И.Е. Семёнов, М.Н. Шапиро, Ю.Н. Игнатов, Д.Б. Кевеш. №94012731; Заявл. 12.04.1994. Опубл. 20.01.1997.
4. Семёнов И.Е. Моделирование процессов последовательной формовки продольных каналов в листе на стане с эластичным и жёстким инструментом. Заготовительные производства в машиностроении // Кузнечно-штамповочное производство, 2010. №6. С. 29–32.
5. Семёнов И.Е. Новые конструкции плоских солнечных коллекторов для мобильных модульных установок горячего водоснабжения // Вестник МГТУ, 2010. №2(79). С. 71–83.
6. Семёнов И. Е. Солнечные мобильные модульные установки горячего водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника, 2010. №2. С. 26–29.
7. Семёнов И.Е., Рыженко С.Н., Поворов С.В. Моделирование процесса формовки на профилигибочном стане с эластичным рабочим инструментом // Вестник МГТУ, 2010. №4(79). С. 86–93.
8. Семёнов И.Е., Горбулинский А.А. Повышение жесткости полиуретанового инструмента для обработки давлением листового материала // Кузнечно-штамповочное производство, 2014. №4. С. 29–31.
9. Патент РФ 2352422 C2 RU B21, D7/08. Гибкий производственный комплекс для деформирования и резки листового металла / И.Е. Семёнов, С.Н. Рыженко, М.А. Крутова, С.В. Поворов. Заявл. 29.12.2006. Опубл. 20.04.2009.
10. Патент РФ 2268805 RU B21, D7/08. Стан для обработки металлического листа давлением / И.Е. Семёнов, А.Г. Сербин, О.Р. Сербина, И.Ю. Туманов. Заявл. 03.02.2004. Опубл. 27.01.2006.
11. Патент РФ 2368446 RU B21, D7/08. Стан для обработки металлического листа давлением / И.Е. Семёнов, С.Н. Рыженко, С.В. Поворов. Заявл. 07.10.2008. Опубл. 27.09.2009.

Solar collectors of flat type with an absorber from corrosion-proof steel.
Pp. 70–72.

I. E. Semenov, Doctor of Engineering Sciences, Professor; **S. N. Ryzhenko**, PhD, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University

1. Semenov I.E. *Lokal'naja formovka jelastichnoj sredoj* [Local molding by an elastic medium]. *Vestnik mashinostroeniya* [Russian Engineering Research]. 1997. No. 5. Pp. 19–21.
2. Semenov I.E. *Napravleniya ispol'zovaniya lokal'nogo formoobrazovaniya na mal'kh predpriyatiyah* [Using of the local molding at small business enterprises]. *Inzhenernyy zhurnal* [Engineering magazine]. 1997. No. 2. 1997. No. 5. Pp. 8–11.
3. Patent of Russia No. 2071853, MKI5 B 21D 22/10. *Ustrojstvo dlja izgotovleniya izdelij s vypuklo-vognutym rel'efom iz listovogo metalla* [An apparatus for manufacturing products with a convex-concave sheet metal relief] / I.E. Semenov, M.N. Shapiro, Ju.N. Ignatov, D.B. Kevesh. No. 94012731; Decl. at April 12 of 1994. Publ. at January 20 of 1997.
4. Semenov I.E. *Modelirovanie processov posledovatel'noj formovki prodol'nyh kanalov v liste na stane s jelastichnym i zhestkim instrumentom. Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii* [Simulation of processes of sequential forming of the longitudinal channels in the sheet on the mill with elastic and rigid tools. Blanking production in mechanical engineering]. *Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo* [Forging and Stamping Production]. 2010. No. 6. Pp. 29–32.
5. Semenov I.E. *Novye konstrukcii ploskih solnechnykh kollektorov dlja mobil'nykh modul'nykh ustanovok gorjachego vodosnabzheniya* [New designs of the flat solar collectors for mobile modular plants for hot water supply]. *Vestnik Moskovskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet imeni N. Je. Baumana (MGU)* [Papers of Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)]. 2010. Vol. 79. No. 2. Pp. 71–83.
6. Semenov I.E. *Solnechnye mobil'nye modul'nye ustanovki gorjachego vodosnabzheniya* [Solar mobile modular plants for hot water supply]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [Water supply and sanitary equipment]. 2010. No. 2. Pp. 26–29.
7. Semenov I.E., Ryzhenko S.N., Povorov S.V. *Modelirovanie processa formovki na profilegibochnom stane s jelastichnym rabochim instrumentom* [Simulation of the molding process in the roll forming mill by an elastic work tools]. *Vestnik Moskovskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet imeni N. Je. Baumana (MGU)* [Papers of Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)]. 2010. Vol. 79. No. 4. Pp. 86–93.
8. Semenov I.E., Gorbunskij A.A. *Povyshenie zhestkosti poliuretanovogo instrumenta dlja obrabotki davleniem listovogo materiala* [Increasing the stiffness of the polyurethane tools for sheet material pressure shaping]. *Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo* [Forging and Stamping Production]. 2014. No. 4. Pp. 29–31.
9. Patent of Russia No. 2352422 S2 RU B21, D7/08. *Gibkij proizvodstvennyj kompleks dlja deformirovaniya i rezki listovogo metalla* [Flexible production complex for molding and cutting sheet metal] / I.E. Semenov, S.N. Ryzhenko, M.A. Krutova, S.V. Povorov. Decl. at December 29 of 2006. Publ. at April 20 of 2009.
10. Patent of Russia No. 2268805 RU B21, D7/08. *Stan dlja obrabotki metallicheskogo lista davleniem* [The mill for processing sheet metal by pressure] / I.E. Semenov, S.N. Ryzhenko, S.V. Povorov. Publ. at December 27 of 2009. Bull. No. 33.
11. Patent of Russia No. 2368446. *Stan dlja obrabotki metallicheskogo lista davleniem* [The mill for sheet metal pressure shaping] / I.E. Semenov, S.N. Ryzhenko, S.V. Povorov. Decl. at February 03 of 2004. Publ. at December 27 of 2009. Bull. No. 33.