

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК.621.575.: 662.997

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-3-37-45

Обзорная статья /Review article



Технические аспекты развития гелиоэнергетической холодильной техники на твердых сорбентах

Ю.В. Шипулина, М.Ф. Руденко, В.Н. Саинова

Астраханский государственный технический университет,
414056, г. Астрахань, ул.Татищева, 16, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является обзор этапов развития холодильной техники сорбционного действия на твердых сорбентах и оценка современного состояния развития такой техники бытового назначения применительно к использованию солнечной энергетики. **Метод.** Анализируется динамика развития гелиоэнергетической холодильной техники на основе сорбционных термотрансформаторов, рабочими парами которых являются твердые сорбенты и озонобезопасные хладагенты. Начало развития идет от создания установок периодического действия, работающих от тепловой энергии традиционных энергоносителей: горячей воды, сжигании углеводородного или органического топлива, электрической энергии, а охлаждения водой и воздухом и заканчивается современными холодильными установками, работающими от энергии солнечной радиации и суточного перепада температур окружающей среды. **Результат.** Отмечаются особенности принятия технических решений, лежащих в основе проектирования основных аппаратов гелиоэнергетических холодильных установок. Описаны схемные решения и принципы работы установок и их аппаратов, применяемых для улучшения эффективности работы. Рассмотрены основные тенденции исследований, проводимых учеными для улучшения работы гелиоэнергетических термотрансформаторов циклического действия. **Вывод.** Результаты исследования могут быть полезны молодым ученым, инженерам и конструкторам для проектирования и разработки инновационных автономных термотрансформаторов и холодильных установок для охлаждения и кратковременного хранения продуктов и медикаментов, получения пищевого льда, кондиционирования, работающих автономно от солнечной энергии. Такие установки просты в изготовлении и эксплуатации.

Ключевые слова: солнечная энергия, адсорбционные холодильные установки, схемы, технические решения, рабочие пары.

Для цитирования: Ю.В. Шипулина, М.Ф. Руденко, В.Н. Саинова. Технические аспекты развития гелиоэнергетической холодильной техники на твердых сорбентах. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(3):37-45. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-3-37-45

Technical aspects of the development of solar energy refrigeration technology on solid sorbents

Y.V. Shipulina, M.F., Rudenko, V.N. Sainova

Astrakhan State Technical University,
16 Tatishcheva St., Astrakhan 414056, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is a scientific review of the stages of development of refrigeration technology with sorption action on solid sorbents and an assessment of the current state of development of such household equipment in relation to the use of solar energy. **Method.** The dynamics of the development of solar energy refrigeration equipment based on sorption thermotransformers, the working vapors of which are solid sorbents and ozone-safe refrigerants, are analyzed. The beginning of development comes from the creation of periodic installations operating from the thermal energy of traditional energy carriers: hot water, burning of

hydrocarbon or organic fuels, electric energy, and cooling with water and air and ends with modern refrigeration units operating from the energy of solar radiation and the daily temperature difference of the environment. **Result.** The peculiarities of making technical decisions underlying the design of the main devices of solar energy refrigeration units are noted. Circuit designs and operating principles of installations and their devices used to improve operating efficiency are described. The main trends in research conducted by scientists to improve the operation of solar energy thermal transformers of cyclic action are considered. **Conclusion.** This article may be useful to young scientists, engineers and designers for the design and development of innovative autonomous thermal transmitters and refrigeration units for cooling and short-term storage of products and medicines, obtaining food ice, air conditioning, operating independently from solar energy. Such installations are easy to manufacture and operate.

Keywords: solar energy, adsorption refrigeration units, schemes, technical solutions, working pairs.

Для цитирования: Y.V. Shipulina, M.F., Rudenko, V.N. Sainova. Technical aspects of the development of solar energy refrigeration technology on solid sorbents.. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(3):37-45. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-3-37-45

Введение. Эффективное внедрение новых экологически безопасных технологий получения теплоты и холода за счет энергии солнечной радиации возможно путем применения сорбционных термотрансформаторов, в которых используются твердые сорбенты и озонобезопасные хладагенты. Для этого необходима разработка новых конструкций установок, аппаратов, поиска новых сорбентов и хладагентов, создание новых солнцепоглощающих покрытий, материалов и т.п.

Постановка задачи. В основе работы гелиоэнергетических термотрансформаторов используется энергия солнечной радиации и суточные перепады температур окружающей среды, поэтому от того насколько эффективно будут реализованы эти условия в конструкциях аппаратов этих трансформаторов, использования совершенных характеристик рабочих пар (сорбент - хладагент) в установках, применения специальных материалов: солнцепоглощающих, теплоизолирующих, теплопроводящих, используемых в них, наличия совершенной арматурной компоновки, устройств автоматического регулирования работой системы и других особенных условий будет зависеть и эффективность работы всей холодильной установки.

Методы исследования. Рассмотрим этапы развития холодильной техники сорбционного действия на твердых сорбентах и современное состояние развития такой техники бытового назначения применительно к использованию солнечной энергии.

В самых первых установках использовались сорбенты на основе щелочноземельных солей, например, хлорид кальция и хладагент – аммиак.

Реакция «сухой» абсорбции (образования аммиакатов) такой пары идет в несколько этапов:

$\text{CaCl}_2 + 2 \text{NH}_3 = \text{CaCl}_2 (2 (\text{NH}_3)) + \Delta i$ – образование диаммиаката с отводом теплоты реакции;

$\text{CaCl}_2 (2 (\text{NH}_3)) + 2 \text{NH}_3 = \text{CaCl}_2 (4 (\text{NH}_3)) + \Delta i$ – образование тетрааммиаката с отводом теплоты реакции;

При абсорбции сухой соли до насыщенного состояния аммиаком:

$\text{CaCl}_2 \cdot \text{CaCl}_2 (4 (\text{NH}_3)) + 4 \text{NH}_3 = \text{CaCl}_2 (8 (\text{NH}_3)) + \Delta i$ – образование октоаммиакатов с отводом теплоты реакции.

При подводе теплоты идет обратный процесс распада аммиакатов на чистые твердые соли и газообразный аммиак. Почему первые ученые и инженеры обратили свое внимание на щелочноземельные соли и прежде всего на хлориды кальция и стронция. Строгой научной теории на объяснение этого феномена нет, но обращает внимание на себя следующее: молекулы этих солей имеют на последней орбите по восемь свободных

электронов и к этим электронам могут присоединяться при определенных энергетических условиях биполярные молекулы аммиака, образуя неустойчивые соединения ди-, тетра-, окто-, аммиакаты. Как только увеличивается энергетический уровень молекулы за счет подвода теплоты, начинается поэтапно ступенчатый распад аммиакатов. Ученые отметили, что образование аммиакатов связано не только с массовыми, но и объемными изменениями сорбента, например, 100 грамм чистого сорбента соли хлорида кальция может присоединить 102 грамма чистого хладагента -аммиака, при этом объем аммиакатов по сравнению с чистой солью увеличивается в 2 – 3 раза [1 -10].

Обсуждение результатов. Создание и работа первых холодильных установок на твердых сорбентах уходит корнями глубоко в историю- в начало прошлого столетия. Такими были холодильные установки периодического действия. Одним из самых популярных был домашний холодильник периодического действия «Frigor», выпускаемый в Германии в 1920-х годах [1] (рис.1).

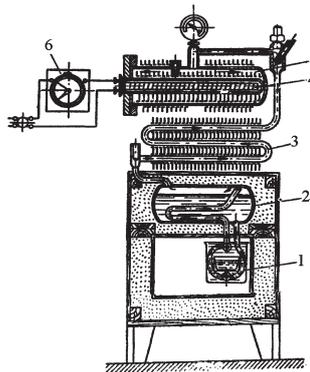


Рис. 1. Домашний холодильник Frigor: 1-испаритель змеевиковый; 2- ресивер; 3 – конденсатор воздушный; 4 – электрический нагреватель; 5 - генератор-абсорбер
Fig. 1. Frigor home refrigerator: 1-coil evaporator; 2- receiver; 3 – air condenser; 4 – electric heater; 5 - generator-absorber

Он состоял из следующих аппаратов: генератора –абсорбера – 5, совмещенной конструкции, выполненного в виде металлической конструкции, внутри которого располагались трубки с электрическим нагревателем и внешнем оребрении. Между ребрами трубок засыпался сухой сорбент, конденсатор – 3, воздушного охлаждения с оребренными трубками, ресивер -2 и испарительный змеевик -1, расположенного в сосуде с водой, аккумулирующей холод в изолированной охлаждаемой камере. Работа холодильника состояла из двух периодов: период выпаривания холодильного агента –аммиака из сорбента – хлорида кальция за счет подвода тепловой энергии от электронагревателя - 4 сжижения и охлаждения аммиака в конденсаторе и накоплении в ресивере, а затем в испарителе -1.

Второй период – получения холода в испарителе: после отключения электронагревателя, когда наступает естественное охлаждение генератора-абсорбера, сухая соль охлаждается и начинает поглощать (абсорбировать) пары аммиака из испарителя и частично из ресивера. Основная часть теплоты идет из холодильной камеры к испарителю, где начинается кипение аммиака и возникает охлаждающий эффект, пары хладагента через конденсатор идут в генератор-адсорбер по тем же каналам пути в обратном направлении.

Установление часового механизма позволяло периодически включать и выключать нагреватель, периодически охлаждая камеру холодильника. Более мощные машины периодического действия, работающие на тепловой энергии от горения дров, угля, газа, а охлаждения водой предлагались в работах [2,3]. Номенклатура аппаратов крупных установок и периодический принцип работы оставался тем же самым, что и в холодильнике «Frigor». Сначала при подводе теплоты к генератору с насыщенным сорбентом генератор - абсорбер десорбирует из сорбента соли аммиака, а конденсатор – сжижает хладагент и накапливает в ресивере (период зарядки). А затем – охлаждается генератор-абсорбер, понижается давление в установке и начинается абсорбция аммиака из испарителя в котором он кипит, создавая эффект

охлаждения до температур замерзания воды в холодильной камере. Конструктивно генератор и абсорбер, где находился сорбент выполнялся совмещенного типа, в котором попеременно создавали то горячую среду нагрева сорбента, то холодную среду охлаждения сорбента.

В крупных холодильниках генераторы-абсорберы изготовлялись или пластинчатой конструкции, или трубчатой с внешним оребрением установленными в желоба, через стенки и ребра которых подводилась или отводилась теплота при нагреве или охлаждении. Теплота подводилась к насыщенному сорбенту горячей водой или теплом от прямого горения дров или угля, а отводилось тепло холодной водой. В генератор – абсорбер засыпался твердый сорбент на пластины или между ребрами трубок в виде щелочноземельной соли. А в ресивер и испаритель заливался жидкий хладагент – аммиак.

Аппараты совмещенного действия, их работа регулировалась вручную за счет переключения соответствующих вентилях. Подвод тепла к генератору осуществлялся за счет нагрева горячей водой или сжиганием углеводородного, древесного или органического топлива. После 5-8 лет эксплуатации таких установок был проведен анализ конструктивных особенностей эксплуатации основных аппаратов генераторов-абсорберов. Аппараты были разрезаны и изучены на возможность дальнейшей модернизации.

Анализ показал сильную деформацию пластин и оребрения, сползание сорбента в нижнюю часть аппарата, остекление соли в некоторых узлах конструкции. Периодичность работы генератора, непостоянство охлаждения во времени, большое количество ручного труда, неэффективность работы топки горения и подвода и отвода воды, а также рост электрических мощностей, развитие компрессоростояния вытеснили такие установки периодического действия из промышленности. Хотя надо сказать что в Китае встречаются на небольших рыбацких лодках подобные установки для замораживания и временного хранения пойманной рыбы в морских условиях. Спустя много лет ученые снова вернулись к идее периодических установок для использования их при работе с солнечной энергией. Идея хорошая, так как конструкция установок простая, бесшумная, нет механически движущихся деталей, не нужна электрическая энергия.

Идея установок периодического действия легли в основу создания солнцеексплуатирующих холодильных машин и установок. В определенных местах нашей планеты есть места, где солнечных дней много и суточные перепады температур значительные.

Осталось создать аппарат, который смог бы «заманить» солнце в ловушку и его энергией нагреть сначала насыщенный сорбент, выделяя из него хладагент, а затем в ночное время охладить его температурой окружающего воздуха, то есть сделать эффективный термокомпрессор. Задача первых конструкторов солнцеексплуатирующих установок заключалась в основном в том, чтобы создать гелиоэнергетическую, установку, способную использовать энергию солнечной радиации для обогрева реактора генератора. Ученые обратили внимание на две схемы конструкции генератора-абсорбера: первая, применение зеркальных параболических солнечных концентраторов, фокусирующих солнечные лучи на поверхность нагрева; вторая схема – это использование конструкции «горячего ящика» [4] (рис.2).

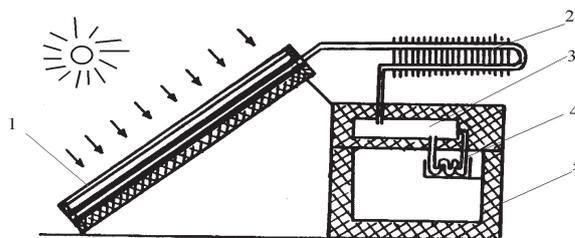


Рис. 2. Гелиоэнергетический холодильник: 1 - генератор-абсорбер совмещенной конструкции типа «горячий ящик», 2-конденсатор воздушный, 3 – ресивер, 4- испаритель, 5- изоляционная перегородка, 5- холодильная камера

Fig. 2. Solar refrigerator: 1 - generator-absorber of a combined “hot box” design, 2-air condenser, 3-receiver, 4-evaporator, 5-insulating partition, 5- refrigeration chamber

В первых гелиоэнергетических установках 60-80 годах XX века применялись генераторы – абсорберы трубчатой конструкции, собранные параллельно вертикально в конструкцию однорядного коллектора и помещенную в «горячий ящик», который устанавливался строго на юг под углом широты местности к горизонту с внешним облучением солнцем прозрачной стороны. Вертикальные конструкции реакторов генератора-абсорбера позволяют в нижней части аппарата держать соль. Сорбент расширялся при абсорбции в верхнюю внутреннюю часть трубы, а при десорбции, из аммиаков которой, хладагент в виде газа отделялся и отводился в конденсатор. Недостатками таких конструкций были неполный возврат соли при обратных перемещениях сверху вниз, образовывались пустоты за счет неравномерного нагрева и охлаждения ее. Часть конструкции реактора оставалась не рабочей, за счет расширения соли.

Впервые реализацию объемного расширения при образовании аммиаков в реакторе генератора-абсорбера с целью повышения производительности была решена учеными [6], которые предложили в цилиндрический реактор поставить скользящий по перфорированному хладопроводу цилиндрический поршень. Поршень был закреплен к внутренней части корпуса генератора-абсорбера пружиной. Пружина находилась в толще сорбента, разрыхляя его при растяжении и сжатии, не давая сорбенту слеживаться. Постоянная подпрессовка аммиаков сорбента поршнем в целом улучшала равномерность набивки реактора, ликвидировала возможное образование полостей и пустот, создавала равномерность подвода и отвода тепловых потоков к сорбенту.

Другие исследователи предложили на гладкий перфорированный хладопровод с отверстиями насадить [7] лепестковые пластины с горизонтальными насечками, между которыми располагался насыщенный сорбент. Пластины зажимались пружиной, работающей на сжатие (рис.3).

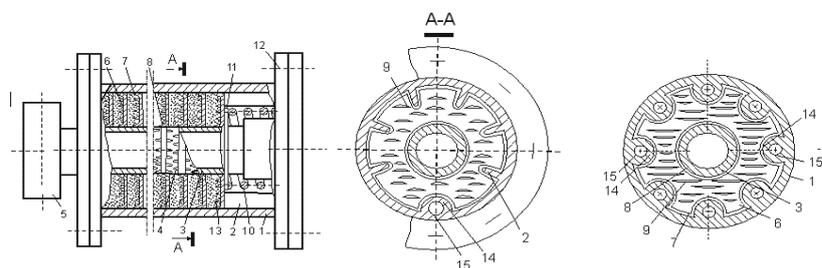


Рис. 3. Схема конструкции генератора-абсорбера с внутренним подвижным оребрением: фрагменты пластин: 1- корпус цилиндрический, 2-ребро продольное, 3-трубка перфорированная, 4-отверстие овальное, 5- хладопровод, 6- пластины подвижные лепестковообразные, 7 - буртики срезные внутренние, 8 –буртики срезные наружные, 9- насечки горизонтальные, 10 - пружина винтовая, 11 – шайба подвижная, 12 – фланец корпуса, 13 - абсорбент,

14-большое продольное ребро, 15-отверстие для отвода тепла абсорбции

Fig. 3. Design diagram of a generator-absorber with internal movable fins: Fragments of plates:

1 - cylindrical body, 2 - longitudinal rib, 3 - perforated tube, 4 - oval hole, 5 - cold pipe,

6 - movable petal-shaped plates, 7 - internal shear beads, 8 - external shear beads,

9 - horizontal notches, 10 - screw spring, 11 - movable washer, 12 - housing flange, 13 - absorbent,

14 - large longitudinal rib, 15 - hole for absorption heat removal

Развитые горизонтальные насечки на пластинах не дают сползать аммиакатам соли под действием гравитационных сил вниз, пружина сглаживала продольные деформации объемных изменений аммиаков. Заостренные заусенцы на внешних краях пластин не давали слеживаться сорбенту. Острыми заусенцами перемещаясь по наружной поверхности перфорированного хладопровода и внутренней стенки корпуса реактора лепестковые пластинки срезали подмокшие слои сорбента, очищая поверхности скольжения от нарастания сорбента, а горизонтальные насечки удерживали сорбент от гравитационного перемещения вниз во время деформации, к тому же длина горизонтальных заусенцев определяла горизонтальные габариты перемещения и фиксировала подвижность конструкции пакета всех

пластин. Внутреннее оребрение корпуса реактора усложняло его изготовление, однако если в этих ребрах сделать каналы для протекания теплоносителя, то это дает возможность получать теплоту через теплоноситель днем от избытка тепла от солнца, а ночью от теплоты абсорбции.

Большим вкладом в развитие гелиоэнергетической техники является изобретение организации полного циклического оборота хладагента в замкнутой системе установки от генератора-адсорбера через конденсатор в ресивер через вентиль или обратный клапан и обратно из ресивера через регулирующий вентиль подачи в испаритель и второй вентиль или обратный клапан в генератор-абсорбер (рис. 4) [5]. Такое движение хладагента позволяет управлять работой установки автоматически без вмешательства человека.

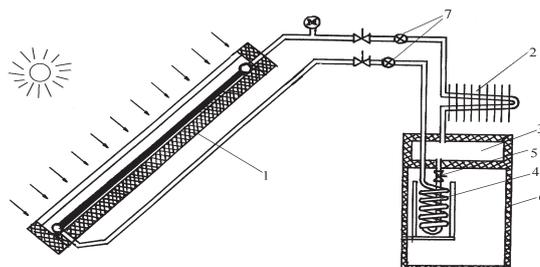


Рис. 4. Гелиоэнергетический холодильник: 1 - Генератор-абсорбер совмещенной конструкции типа «горячий ящик», 2-конденсатор воздушный, 3 –ресивер, 4- испаритель, 5- изоляционная перегородка, 6- холодильная камера

Fig. 4. Solar energy refrigerator: 1 - Generator-absorber of a combined “hot box” design, 2-air condenser, 3-receiver, 4-evaporator, 5-insulating partition, 6- refrigeration chamber

Например, за счет терморегулирующего или соленоидного вентиля при подаче хладагента в испаритель. Уменьшение потерь гидравлических сопротивлений во всасывающих и нагнетательных трубопроводах возможно снизить за счет дополнительных хладопроводящих каналов. В последующие десятилетия реакторы и генераторы-абсорберы стали располагать горизонтально поверхности земли, часто с применением концентраторов солнечной энергии (рис. 5). [4, 8].

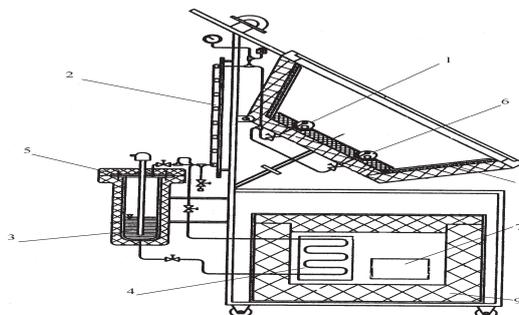


Рис. 5. Гелиоэнергетический холодильник: генератор-абсорбер с селективным покрытием поверхности; 2-конденсатор; 3- ресивер; 4 - испаритель; 5- регулирующие устройства; 6- вспомогательный форгенератор; 7 - емкость со льдом; 8 – зеркальный отражатель; 9 – изоляция

Fig. 5. Solar energy refrigerator: 1-generator-absorber with selective surface coating; 2-condenser; 3- receiver; 4 - evaporator; 5- regulating devices; 6- auxiliary forgenerator; 7 - container with ice; 8 – mirror reflector; 9 - insulation

Такая компоновка в «горячем» ящике позволяет на 30% увеличить дневную энергию обогрева солнцем, так как солнечные лучи облучают поверхность генератора-абсорбера или его реакторов вдоль всей поверхности в течении всего дня.

В последние годы большое внимание уделяется оптимизации геометрических размеров и компоновки элементов конструкции в гелиоприемной части установок. Применение концентраторов солнечной энергии позволяет сфокусировать рассеянную солнечную энергию и направить ее на нагрев конкретной детали элемента конструкции и, следовательно, насыщенной соли в реакторе генератора.

В отличие от криволинейных конструкций концентраторов солнечной энергии, как наиболее сложных в изготовлении, применяют плоские. Многокорпусные конструкции генераторов-адсорберов [9] (рис. 6) снижают конвективные тепловые потоки и потери теплоты при нагревах днем, улучшают охлаждение реакторов ночью.

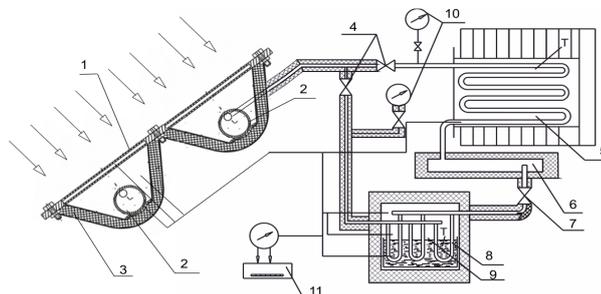


Рис. 6. Гелиоэнергетический термотрансформатор: генератор-абсорбер; реакторы 3- гелиоприемное устройство, 4 – вентиля 3- изоляция, 5 конденсатор, 6-ресивер, 7-регулирующий вентиль, 8-испаритель, 9- охлаждаемая камера, 10-матометры, 11-измеритель температур

Fig. 6. Solar thermal transformer: generator-absorber; reactors 3 - solar receiver, 4 - valves 3 - insulation, 5 condenser, 6 - receiver, 7 - control valve, 8 - evaporator, 9 - cooled chamber, 10 - matometers, 11 - temperature meter

Немалую роль в нагреве поверхности реактора играют и селективные покрытия поверхностей реакторов [10, 11]. В работе [9] исследователям удалось получить значения соотношений основных конструктивных параметров между диаметром трубки реактора и углом раскрытия плоских зеркал концентратора солнечной энергии, при котором лучи солнечной энергии в течении дня при горизонтальном расположении реактора эффективно с максимальным освещением поверхности осуществляют трехкратное освещение.

Так на основании анализа коэффициентов оптико-энергетической концентрации были рассчитаны оптимальные соотношения и геометрические пропорции в конструкции гелиоприемного устройства между цилиндрическим радиусом реактора генератора-абсорбера (R), шириной раскрытия плоских зеркал (W) и фиктивным углом раскрытия (Θ). При рациональной компоновке и трехкратном освещении солнечными лучами соотношения составляют: $(W/2 \cdot R) \div W / (\pi \cdot R) = 3,5$ при угле раскрытия $\Theta = 55$ градусов.

В последние годы значительно увеличилось число работ, связанных с разработкой новых сорбентов для солнечных гелиоэнергетических термотрансформаторов. Разработки ведутся на основе использования новых нанотехнологий, применяя гибридные комбинированные соединения включающие формирование структурной матрицы из активированных углей или вермикулита и элементов щелочноземельных солей, разрабатываются различные графитовые добавки для сухих солей сорбентов, улучшающих их; теплофизические характеристики и пористую структуру материала, увеличивающие цикл работы и долговечность применения.

Разрабатываются новые силикагели и цеолитоподобные алюмофосфаты, активно применяются новые рабочие пары на основе сорбентов силикагеля, цеолита и хладагента – воды, рассматриваются вопросы замены хладагента аммиака метиламином, этиламином, озонобезопасными фреонами [11 - 13].

Вывод. Обзор литературных источников показал возможность дальнейшего развития и внедрения солнцепользующей холодильной техники на основе сорбционных термотрансформаторов в промышленности и быту.

В своей работе [17] крупный российский ученый – конструктор Калнинь Игорь Мартынович прогнозировал в будущем перспективы развития абсорбционной холодильной техники, делая упор в том числе на теплоиспользующие и солнцепользующие термотрансформаторы. Достоинство последних в том, что в них возможно не использовать электрическую энергию, производство которой сильно загрязняет атмосферу земли парниковыми газами. В некоторых странах, например, во Франции серийно выпускаются коммерческие бытовые солнцепользующие холодильники, которые успешно эксплуатируются в северной Африке.

В Российской Федерации регионами, где могут использоваться и эксплуатироваться в

летний период времени подобные установки, являются Астраханская область, Калмыкия, районы Дагестана и Северного Кавказа, Ставропольский, Краснодарский и Приморский края, Хакасия, Крым и другие районы.

Авторы надеются, что данная статья вызовет профессиональный интерес не только ученых исследователей, но и конструкторов, работающих в данном направлении разработки и проектирования образцов инновационной гелиоэнергетической техники, а они обогатят развитие этого направления техники новыми гипотезами и идеями, новыми конструктивными задумками и решениями при разработке новых абсорбционных термотрансформаторных установок.

Библиографический список:

1. Розенфельд Л.М. Холодильные машины //Л.М.Розенфельд, А.Г. Ткачев - 1955. М. Государственное издательство торговой литературы. 584 с.
2. Блиер Б.М. Сухая абсорбционная холодильная установка для сепараторных пунктов//Холодильное дело 1932.№2. С. 18-20
3. Буффингтон Р.М. Абсорбционное охлаждение с твердыми абсорбентами //Холодильное дело 1933. №6. С.34-28.
4. М.Ф. Руденко, Ю.В.Шипулина. Гелиоэнергетические термотрансформаторы «сухой» абсорбции циклического действия: монография/ Астрахан.гос.техн.ун-т.-Астрахань: Изд-во АГТУ, 2013. 172 с.
5. Б.М. Ачилов, Ч. Мангалжалав. Холодильная установка с твердым сорбентом// Холодильная техника. 1990. №2. С.5-7
6. А.С. СССР №1983 Захидов Р.А., Шадиев С.,Киргизбаев Д.А.Ачилов Б.М. Генератор-адсорбер гелиохолодильника
7. Генератор-адсорбер гелиохолодильника: патент 2137991 Рос.Федерация. № 98100862/06 / Руденко М.Ф., Альземьнев А.В., Анихуви Жак Анри Джиджохе, Черкасов В.И., Макеев П.А.; заявл.05.01.98 ; опубл. 20.09.99, Бюл.№ 26. 4с.
8. М.Ф. Руденко, Ю.В.Шипулина, М.Ш.Каримов, А.М.Руденко. Повышение эффективности работы гелиоэнергетических холодильных установок адсорбционного типа// Вестник Дагестанского технического университета. Технические науки, 2019 С.№ 46(4). С.32-41
9. М.Ш.Каримов, М.Ф.Руденко, Ю.В.Шипулина. Повышение эффективности гелиоэнергетического адсорбционного гелиоэнергетического термотрансформатора// Химическое инефтегазовое машиностроение 2016.№ 3.С.31—35.
10. Электролит для черного оксидирования. стали: патент 2287613 Рос.Федерация. № 2005103442/02 / Кравцов Е.Е., Руденко М.Ф., Сурков М.И., Гомоненко О.И., Балахонова К.С., Скрипниченко С.П., Кириченко В.И., Шенбор М.И., Янченкова Т.А.; заявл. 20.07.2006 ; опубл. 20.11.2006 Бюл.№32. 3с.
11. Электролит для осаждения черных антикоррозионных оксидных покрытий на сталь: патент 2365676 Рос.Федерация. № 2008130824/02 / Долецкая К.А., Кравцов Е.Е., Горская А.С., Мифтахова Г.Ф., Руденко М.Ф., Сурков М.И., Кириченко В.И., Шнбор М.И., Огородникова Н.П., Кондратенко Т.С.; заявл. 25.07.2008 ; опубл. 27.08.2009, Бюл.№24. 4
12. G.C. Tubreoumya, E.S. Tiendrebeogo, O. Bailou, T. Dabilgou, B. Zeghmati, A.O. Dissa, J. Koulidiati, A. Bere. Effect of Adsorbent/Adsorbate Couple on the Performance of Adsorption Solar Refrigerator / Engineering, 2022;14(3): 95-112.https://www.scirp.org/pdf/eng_2022031816273172.pdf
13. S. Wu Wang, T.X. Li a, T. Yan b, R.Z. Experimental investigation on a thermochemical sorption refrigeration prototype using EG/SrCl₂-NH₃ working pair. *Refrigeration* 2018; 88:8-15 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014070071730484X>
14. Ch.Denzinger,G.Berkemeier,O.Winter,MToward sustainable refrigeration systems: Life cycle assessment of a bench-scale solar-thermal adsorption refrigeratorVers des systèmes frigorifiques durables : analyse du cycle de vie d'un réfrigérateur à adsorption solaire-thermique à l'échelle du banc d'essai/ Worsham,C. Labrador, K.Willard,A. Altaher,Ja. Schuleter,A.Ciric. *Inter.Journal of Refrigeration* January 2021;121:105-113.
15. Kolthoum Missaoui, Abdelhamid KheiriNader, FrikhaSlimane, GabsiMohammed El Ganaoui. Heat storage in solar adsorption refrigeration systems: A casestudy for indigenous fruits preservation. *Case Studies in Thermal Engineering*, December 2022; 40: 102472 <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102472>
16. Y. Yu, Q. W. Pan, L. W. Wang. A small-scale silicagel-water adsorption system for domestic air conditioning and water heating by the recovery of solar energy. *Frontiers in Energy*. 2020; 14:328–336 (2020) <https://link.springer.com/article/10.1007/s11708-019-0623-1>
17. Калнинь И.М. Что ждет холодильную технику в XXI веке. Холодильная техника. 2002.№ 4. С.2-5.

References

1. L.M. Rosenfeld, A.G. Tkachev. Refrigerating machines M. State Publishing House of Trade Literature. 1955; 584 (In Russ).
2. Blier B.M. Dry absorption refrigeration unit for separator points. *Refrigeration business* 1932; 2:18-20 (In Russ).

3. Buffington R.M. Absorption cooling with solid absorbents. *Refrigeration business* 1933;6:28-34 (In Russ).
4. M.F. Rudenko, Y.V. Shipulina. Solar-energy thermal transformers of “dry” absorption of cyclic action: monograph. Astrakhan State Technical University. Astrakhan: Publishing house ASTU, 2013;172. (In Russ).
5. B.M. Achilov, Ch. Mangalgalav. Refrigeration unit with solid sorbent. *Refrigeration equipment*. 1990;2:5-7(In Russ).
6. A.C. USSR №1983 Zahidov R.A., Shadiev S, Kirgisbaev D.A., Achilov B.M. Generator-adsorber of the solar cooler(In Russ).
7. Generator-adsorber of the solar cooler: patent 2137991 Russian Federation № 98100862/06 / Rudenko M.F., Alzemenev A.V., Anihuvi Jacques Henri Gijohe, Cherkasov V.I., Makeev P.A. application.05.01.98 ; publ. 09/20/99;26:4. (In Russ).
8. M.F. Rudenko, Y.V. Shipulina, M.Sh. Karimov, A.M. Rudenko. Improving the efficiency of solar-energy refrigeration units of the adsorption type. *Herald of Daghestan Technical University. Technical Sciences*, 2019; 46(4):32-41 (In Russ).
9. M.Sh. Karimov, M.F. Rudenko, Y.V. Shipulina Improving the efficiency of the solar energy adsorption solar energy thermal transformer. *Chemical and oil and gas engineering*. 2016; 3:31-35. (In Russ).
10. Electrolyte for black oxidation. Steel: Patent 2287613 Russian Federation. № 2005103442/02 / Kravtsov E.E., Rudenko M.F., Surkov M.I., Gomonenko O.I., Balahonova K.S., Skripnichenko S.P., Kirichenko V.I., Shenbor M.I., Yanchenkova T.A.; application. 20.07.2006 ; publ. 20.11.2006; 32:3. (In Russ).
11. Electrolyte for deposition of black anticorrosive oxide coatings on steel: Patent 2365676 Russian Federation. № 2008130824/02 / Doletskaya K.A., Kravtsov E.E., Gorskaya A.S., Miftakhova G.F., Rudenko M.F., Surkov M.I., Kirichenko V.I., Shnbor M.I., Ogorodnikova N.P., Kondratenko T.S.; application. 25.07.2008 ; publ. 27.08.2009;24:4 (In Russ).
12. G.C. Tubreoumya, E.S. Tiendrebeogo, O. Bailou, T. Dabilgou, B. Zeghmati, A.O. Dissa, J. Koulidiati, A. Bere. Effect of Adsorbent/Adsorbate Couple on the Performance of Adsorption Solar Refrigerator / *Engineering*, 2022;14(3): 95-112.https://www.scirp.org/pdf/eng_2022031816273172.pdf
13. S. Wu Wang, T.X. Li a, T. Yan b, R.Z. Experimental investigation on a thermochemical sorption refrigeration prototype using EG/SrCl₂-NH₃ working pair. *Refrigerazione* 2018; 88:8-15 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014070071730484X>
14. Ch.Denzinger,G.Berkemeier,O.Winter,MToward sustainable refrigeration systems: Life cycle assessment of a bench-scale solar-thermal adsorption refrigeratorVers des systèmes frigorifiques durables : analyse du cycle de vie d’un réfrigérateur à adsorption solaire-thermique à l’échelle du banc d’essai/ Worsham,C. Labrador,K. Willard,A. Altaher,Ja. Schuleter,A.Ciric. *Inter.Journal of Refrigeration* January 2021;121:105-113.
15. Kolthoum Missaoui, Abdelhamid KheiriNader, FrikhaSlimane, GabsiMohammed El Ganaoui. Heat storage in solar adsorption refrigeration systems: A casestudy for indigenous fruits preservation. *Case Studies in Thermal Engineering*, December 2022; 40: 102472 <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102472>
16. Y. Yu, Q. W. Pan, L. W. Wang. A small-scale silicagel-water adsorption system for domestic air conditioning and water heating by the recovery of solar energy. *Frontiers in Energy*. 2020; 14:328–336 <https://link.springer.com/article/10.1007/s11708-019-0623-1>
17. Kalnin I.M. What awaits refrigeration equipment in the XX1 century. *Refrigeration equipment*. 2002;4:2-5.

Сведения об авторах.

Руденко Михаил Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология»; m.f.rudenko@mail.ru

Шипулина Юлия Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология»; aleera78@mail.ru

Саинова Виктория Николаевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология»; sainovav@yandex.ru

Information about the authors.

Mikhail F. Rudenko, Dr. Sci. (Eng), Prof., Prof., Department of Life Safety and Engineering Ecology; m.f.rudenko@mail.ru

Yulia V. Shipulina, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Assoc.Prof., Department of Life Safety and Engineering Ecology; aleera78@mail.ru

Victoria N. Sainova, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Head of the Department of Life Safety and Engineering Ecology; lsainovav@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 23.05.2023.

Одобрена после рецензирования/ Reved 25.06.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 25.06.2023.