

УДК 504.3

Р.Р. Аблаев, ассистент,**В.В. Макаров, доцент, канд. техн. наук****А.Р. Аблаев, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053**E-mail: alim_ablaev@mail.ru***АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛА В СИСТЕМАХ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДОМОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ (ОБЗОР)**

Проведен анализ аккумулирования тепла в автономных системах солнечного теплоснабжения. Рассмотрены пути создания сезонных аккумуляторов на материалах с фазовым переходом. Выявлены основные пути повышения эффективности аккумуляторов. Предложена укрупненная структурная схема решения задачи разработки и исследования аккумуляторов тепла на материалах с фазовым переходом.

Ключевые слова: *аккумулирование, тепло, автономная, солнечное, теплоснабжение.*

Постановка задачи. В связи с ограниченностью и исчерпанностью традиционных топливных ресурсов в Украине в условиях конфликтов для обеспечения экономического роста и независимости топливно-энергетического комплекса актуален вопрос поиска альтернативных источников энергии. Исходя из географического расположения Украины, одним из перспективных направлений решения этой проблемы является использование солнечной энергии. Однако в настоящее время использование автономных систем солнечного теплоснабжения (АССТ) крайне ограничено. Это связано с низкой эффективностью разработанных систем солнечного теплоснабжения и рассогласованием графика поступления солнечной энергии и ее потребление в форме теплоты. Наибольшее количество солнечной энергии приходится на летний период. Анализ проблем аккумулирования тепла в АССТ, с целью выявления на макроуровне путей их решения, является актуальной научно-технической задачей, требующей дополнительных исследований.

Анализ последних исследований и публикаций. Проблемам аккумулирования солнечной энергии посвящены многие работы зарубежных и отечественных ученых (Дж.А. Даффи, У.А. Бекман, Р.Р. Авезов, Р.А. Амерханов, Н.М. Мхитарян, В.Ф. Резцов, С.А. Кудря, Г.Н. Забарный, А.И. Примаков, Г.И. Денисенко, Н.Д. Шишкин и др.). В большей части работ выявлены пути создания сезонного аккумулятора тепла, применение которых в отопительных системах жилых домов индивидуального пользования затруднено либо нерационально. Предложенные аккумуляторы тепла не решают вопрос создания автономной системы, работающей исключительно на использовании солнечной энергии, без дополнительного отопительного оборудования. Кроме того, практически отсутствуют исследования, посвященные технологии проектирования и выбора наиболее перспективных аккумуляторов тепла для АССТ.

Постановка задачи. Анализ существующих проблем аккумулирования тепла в АССТ жилых домов индивидуального пользования и поиски путей их решения.

Основной материал. Под аккумуляторами тепла понимаются устройства, которые обеспечивают обратимые процессы накопления, сбережения и отдачу тепловой энергии в соответствии со спросом потребителя [1]. В процессе конструирования аккумуляторов тепла решаются следующие задачи: определение граничных температур зарядки и разрядки аккумулятора; определение необходимого перепада температур между греющей средой и аккумулирующим материалом, а также аккумулирующим материалом и нагреваемой средой и, кроме того, массовых расходов греющей и нагреваемой сред; определение времени зарядки и разрядки аккумулятора; определение необходимого объема аккумулятора, режимов его работы и регулирования.

Анализ работ [1–4] показывает, что проблема аккумулирования тепла, в настоящее время, решается по трем направлениям: разработка аккумуляторов тепла, в которых накопление энергии осуществляется за счет теплоемкости (явной теплоты) теплоаккумулирующего материала; разработка аккумуляторов тепла, в которых накопление энергии осуществляется за счет, как теплоты фазового перехода, так и теплоемкости теплоаккумулирующего материала; разработка аккумуляторов тепла, в которых энергия накапливается на обратимых химических реакциях или на явлениях адсорбции–десорбции.

При первом варианте, аккумулирующей средой является материал, который нагревается и охлаждается без фазовых переходов. Преимуществом таких аккумуляторов является простота конструкции, долговечность теплоаккумулирующего вещества и дешевизна. Недостаток – низкая плотность накопления энергии и изменяющаяся температура разряда, в результате чего они не используются для долгосрочного аккумулирования тепла в системах солнечного теплоснабжения.

Основным преимуществом химических аккумуляторов тепла является возможность практически неограниченного по длительности хранения энергии без потерь. В данном случае энергия запасается в двух (или более) химических компонентах, способных в нужное время вступить в экзотермическую реакцию [5]. Энергоемкость химических аккумуляторов тепла на порядок выше, чем у аккумуляторов с использованием материалов с фазовым переходом. Однако химические аккумуляторы имеют ряд недостатков, основным из которых является слабая стабильность адсорберов, что сокращает количество циклов зарядки-разрядки, а, следовательно, период эксплуатации таких аккумуляторов.

В работе [7] анализируются варианты сезонного аккумулирования тепла в подземных аккумуляторах тепла с вертикальными каналами с циркулирующим промежуточным теплоносителем, в который в режиме заряда через скважину закачивается горячая вода, а в режиме разряда через другую скважину закачивается холодная вода. Вследствие отсутствия поверхностей теплообмена данный тип аккумулятора тепла обеспечивает наилучшие теплоэнергетические характеристики. Также следует отметить, что энергоемкость таких аккумуляторов может достигать тысяч киловатт-часов, достаточных для теплоснабжения небольших поселков в течение года. Основными недостатками таких видов аккумуляторов является значительные габариты (длина одного канала может достигать ста метров), трудоемкость и сложность изготовления для конкретного жилого дома индивидуального пользования, большие энергетические затраты на прокачку теплоносителя, а также сложность их осмотра и контроля, что может привести к экономической нецелесообразности их использования в домах индивидуального пользования.

На наш взгляд, для систем солнечного теплоснабжения (круглогодичного действия) индивидуальных домов наиболее целесообразным является использование аккумуляторов на материалах с фазовым переходом. Преимуществом аккумуляторов на материалах с фазовым переходом является постоянная температура разрядки и по сравнению с теплоемкостными аккумуляторами имеют существенно меньшие объемы. Использование теплоаккумулирующих веществ с фазовым переходом в воздухонагревательных системах приводит к снижению объема аккумулятора. В жидкостных отопительных системах использование материалов с фазовым переходом приводят к менее значительному снижению необходимого объема аккумулятора. Так, использование декагидрата сульфата натрия в водонагревательных системах ($t_2 = 60^\circ\text{C}$), требуемый объем аккумулятора уменьшается на 32 % по сравнению с водяным, а в системах отопления ($t_2 = 90^\circ\text{C}$) – на 55 % [6].

Следует отметить, что создание тепловых аккумуляторов на материалах с фазовым переходом связано с определенными трудностями, к которым можно отнести: изменение первоначальной структуры теплоаккумулирующего материала в процессе зарядки-разрядки, что влияет на срок службы аккумулятора; коррозионная активность теплоаккумулирующего материала; отсутствие производства ряда материалов с фазовым переходом, которые, в соответствии с лабораторными исследованиями, имеют высокую теплоемкость.

Поэтому возникает целесообразность создание сезонного аккумулятора тепла на материалах с фазовым переходом, которые освоены в промышленности. Для повышения эффективности функционирования аккумуляторов этого вида необходимы широкие исследования теплофизических и химических свойств теплоаккумулирующих веществ, процессов теплопереноса, с целью увеличения срока использования системы аккумулирования, за счет применения более стабильных теплоаккумулирующих материалов, и уменьшения объемов (снижение массогабаритных характеристик) тепловых аккумуляторов, за счет использования более энергоемких теплоаккумулирующих материалов. Исследования в этом направлении, в настоящее время, продолжаются.

Для аккумулирующих материалов использованием теплоты фазового перехода важны следующие свойства [1, 2]: низкая стоимость; высокие энтальпия фазового перехода и плотность; удобная для эксплуатационных условий температура плавления; высокая теплопроводность в твердой и жидкой фазах (хорошие теплообменные свойства); высокая теплоемкость в твердой и жидкой фазах (если используется и изменение внутренней энергии); отсутствие тенденции к расслоению, температурная стабильность; отсутствие возможности переохлаждения при затвердевании и перегрева, при плавлении; низкое термическое расширение и незначительное изменение объема при плавлении; слабая химическая активность (это позволяет использовать недорогой материал для изготовления корпуса); безопасность (отсутствие ядовитых паров, а также опасных реакций с рабочей или теплообменной средой); большой ресурс работы (количество циклов зарядки и разрядки).

В работе [4] разработан и исследован многослойный тепловой аккумулятор, в котором используется четыре слоя теплоаккумулирующих материала, три из которых – на материалах с фазовым переходом (эвтектические смеси нитратов щелочных металлов с органическими добавками), а четвертый – на основе теплоемкостного материала (трансформаторное масло). Используется этот аккумулятор в пассивной системе отопления. Конструкционные и технологические особенности аккумулятора позволяют осуществлять одностороннюю передачу тепла – в сторону жилого помещения.

Экспериментальные данные проведенных натурных испытаний показывают о более высокой эффективности использования этого аккумулятора по сравнению с однослойным аккумулятором. Поэтому использование многокомпонентных материалов с фазовым переходом при сезонном аккумулировании тепла является перспективным направлением.

Следует отметить, что использование этой схемы аккумулятора в АССТ невозможно без переработки его конструктивных элементов, приспособленных для использования в этой системе параметров, а, следовательно, дополнительного технико-экономического обоснования его структуры. Основным недостатком этого аккумулятора является использование в качестве теплоаккумулирующего материала веществ, производство которых в промышленности не налажено. Это приводит к росту расходов на создание аккумулятора. На наш взгляд, разработка на базе дешевых многослойных материалов с фазовым переходом в аккумуляторах тепла, является одним из направлений решения проблемы сезонного аккумулирования тепловой энергии в АССТ жилых домов индивидуального пользования. Анализ показал, что для активных комбинированных систем солнечного теплоснабжения с использованием теплонасосных установок, наиболее целесообразным является двухкомпонентные аккумуляторы тепла на материалах с фазовым переходом.

Однако выбор исключительно теплоаккумулирующего материала не решает все проблемы сезонного аккумулирования тепла. Поэтому возникает необходимость анализа и исследования всех конструктивных элементов теплового аккумулятора, т.е. исследования его структуры.

Анализ литературных данных [1, 3, 4, 6, 7] показывает, что исследования структур аккумуляторов тепла с материалами с фазовым переходом в настоящее время все еще в значительной мере основаны на интуиции и носят качественный характер. Научный подход к этой области начал развиваться только в самое последнее время.

Следует особо отметить, что при исследовании оптимальных структур аккумуляторов тепла необходимо учитывать то, что объектом системного исследования, как категории достижения определенных целей, являются процессы эксплуатации сложной технической системы, каковой является аккумулятор тепла, с присущими ему всеми её признаками.

В связи с этим задача исследования и создания оптимальных структур аккумуляторов тепла с материалами с фазовым переходом может рассматриваться как задача общей теории синтеза технических систем. В то же время она имеет и ряд специфических особенностей, связанных с требованиями, предъявляемыми к аккумуляторам, с особенностями АССТ, числа элементов системы, физических и химических процессов, протекающих в системе, что требует структуризации задачи, выбора методов ее решения, установления взаимосвязей между подсистемами, определения критериев эффективности.

Следовательно, задача исследования и создания оптимального аккумулятора тепла, в общем виде, состоит в определении:

$$(\hat{P}, \hat{c}, \hat{\chi}, \hat{g}) = \arg \text{ext} g_0(P, c, \chi, g),$$

где $\hat{P}$ – множество возможных принципов построения аккумуляторов тепла; $\hat{c} = \{\hat{c}_i, i = 1, n\}$ – множество подсистем; $\hat{g} = \{g_1, \dots, g_n\}$ – множество показателей оптимальности системы; $\hat{\chi}$ – множество связей между подсистемами $\hat{c}$ и функцией $\hat{g}$.

В связи с этим авторами предлагается поиск оптимального варианта теплового аккумулятора проводить по следующим этапам:

- выбор рациональных теплоаккумулирующих материалов;
- выбор рациональной структуры аккумулятора;
- подбор рациональных параметров основных элементов;
- энергетическая и экономико-экологическая оптимизация параметров этих элементов.

Укрупнено этапы исследования рациональных структур аккумуляторов тепла представлены на рисунке 1.

Поиск оптимального варианта теплового аккумулятора, соответствующего условиям его эффективной эксплуатации в АССТ круглогодичного действия на заданный срок службы, может быть начат со структурной оптимизации.

Теоретические исследования [1–4, 6] показывают, что морфология аккумуляторов тепла с материалами с фазовым переходом весьма многообразна и дает возможности создания множества их конструктивных вариантов. Это, безусловно, усложняет поиск достаточно рационального, а в идеале – оптимального, с точки зрения структуры и параметров аккумуляторов для АССТ. В связи с чем, на первом этапе необходимо отбросить заведомо нерациональные варианты тепловых аккумуляторов. При этом сразу же количество вариантов уменьшается на порядок. Это позволяет в дальнейшем провести анализ гораздо меньшего количества вариантов конструкций аккумуляторов тепла. Наиболее простым методом на начальном этапе, дающим адекватную оценку, является метод морфологического анализа, основным преимуществом которого является формирование множества альтернативных решений,

которые содержат все структурные решения технических систем, как реально существующие, так и потенциально возможные (патентоспособные) структуры. Структурно-морфологические модели, однозначно определяющие структуру и тип (морфологию) аккумуляторов тепла, должны удовлетворять критериям полноты и непротиворечивости исходных данных, соответствующих конкретным компоновочным схемам АССТ и условиям их эксплуатации.

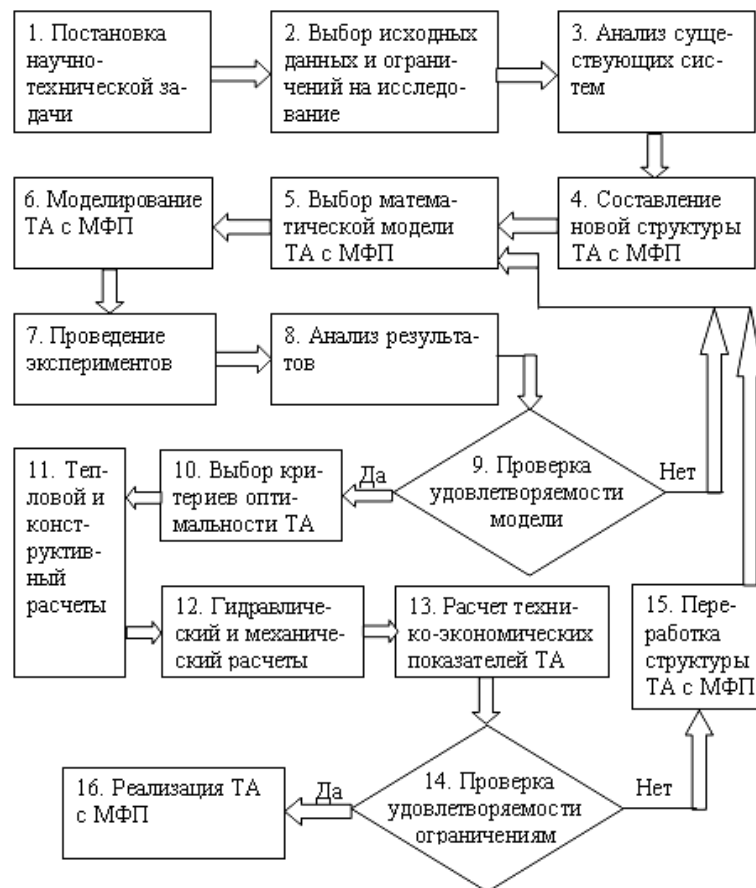


Рисунок 1 – Укрупненная структурная схема решения задачи применения аккумуляторов тепла из материалов с фазовым переходом

При дальнейшем (уточненном) анализе, целесообразно применить феноменологический подход, который, при проектировании, позволяет получить приемлемые для решения поставленной задачи результаты. Он позволяет учесть специфику работы двухкомпонентного теплового аккумулятора на материалах с фазовым переходом в системах солнечного теплоснабжения. Это существенно уменьшит размерность поставленной задачи путем формирования комплексов при разработке математической модели и проведении экспериментов путем минимизации режимов испытаний.

Выводы. Проблема аккумулирования тепла в автономных системах солнечного теплоснабжения жилых домов индивидуального пользования является актуальной задачей, которая в настоящее время неполностью решена. Основным направлением решения этой проблемы видится в развитии использования двухкомпонентных тепловых аккумуляторов на материалах с фазовым переходом. Повышение эффективности функционирования таких аккумуляторов можно обеспечить путем использования дешевых материалов, освоенных в промышленности. Здесь предложена укрупненная структурная схема решения задачи разработки и исследования аккумуляторов тепла на материалах с фазовым переходом.

Перспективой дальнейших исследований является разработка методики проектирования эффективных аккумуляторов тепла на основе материалов с фазовым переходом для АССТ путем параметрического анализа их структур с экспериментальным исследованием влияния на эффективность функционирования аккумуляторов тепла при использовании двухкомпонентных дешевых материалов с фазовым переходом (например, парафин и кристаллогидрат).

Бібліографічний список використаної літератури

1. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников / Н.М. Мхитарян. — К.: Наукова думка, 1999. — 314 с.
2. Бекман У. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи; : пер. с англ. Г.А. Гухман и С.И. Смирнова. — М.: Энергоиздат, 1982. — 80 с.
3. Шишкин Н.Д. Комбинирование и эффективное использование тепловой энергии в автономных теплоэнергетических комплексах (включая возобновляемые источники энергии): дис... докт. техн. наук: 01.04.14. / Шишкин Николай Дмитриевич. — Астрахань, 2004. — 312 с.
4. Кудря С.О. Системи акумулювання і перетворення енергії відновлюваних джерел: автореф. дис... д-ра техн. наук / С.О. Кудря. — К., 1996. — 36 с.
5. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р.Р. Авезов [и др.]; под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. — М.: Стройиздат, 1990. — 328 с.
6. Разработать и ввести в эксплуатацию систему накопления и хранения энергии, обеспечивающую аккумуляцию до 2 тыс. кВт. ч : отчет о НИР (заключ): РН 01.17Ц.05.10 / Институт электродинамики; рук. Резцов В.Ф., исполн.: Кудря С.А. [и др.]. — К., 1991. — 34 с.
7. Примаков А.И. Автономные экологически чистые системы теплоснабжения с сезонными подземными аккумуляторами тепла: дис... канд. техн. наук: 05.14.08 / Примаков Андрей Иванович. — К., 2009. — 195 с.

Поступила в редакцию 04.10.2014 г.

Абласв Р.Р., Макаров В.В., Абласв А.Р. Акумулювання тепла в системах сонячного теплопостачання будинків індивідуального користування

Проаналізовані проблеми акумулювання тепла в автономних системах сонячного теплопостачання. Розглянути напрями дослідження та створення сезонних акумуляторів на матеріалах з фазовим перетворенням. Виявлені основні напрями, за допомогою яких можливо підвищити ефективність акумуляторів на матеріалах з фазовим перетворенням. Запропонована укрупнена структурна схема рішення науково-технічної задачі розробки та дослідження акумуляторів тепла на матеріалах з фазовим перетворенням.

Ключові слова: акумуляція, тепло, автономна, сонячна, теплопостачання.

Ablaev R.R., Makarov V.V., Ablaev A.R. Heat storage in solar heat supply system individual houses of use

The analysis of heat accumulation problems in independent systems of a solar heat supply is lead. Research and creation ways of seasonal accumulators on materials with phase transition are considered. The basic ways with which help it is possible to raise efficiency of accumulators on materials with phase transition are revealed. The integrated block diagram of a scientific and technical problem decision of accumulators development and research of heat on materials with phase transition is offered.

Keywords: accumulation, warm, autonomous, sunny, heat supply.