

Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих систем теплоснабжения

Повышение эффективности теплогенерирующих установок за счет утилизации теплоты, ее аккумуляирования и использования в системах теплоснабжения — актуальная проблема, решение которой позволит создать новые технические установки по аккумуляированию теплоты.

 Efficiency increase of heat producing settings at the expense of recycling of warmth, its accumulation and use in heat supply systems is the actual problem, which decision will allow to create new technical settings on warmth accumulation.

Наиболее перспективными тепловыми аккумуляторами являются устройства на основе зернистого теплоносителя. Масса или объем теплоаккумулялирующего материала (ТАМ) зависит от соответствующей плотности запасаемой энергии и КПД процесса аккумуляирования тепла. В реальном процессе аккумуляирования теплоты плотность запасаемой энергии на порядок ниже теоретического значения вследствие тепловых потерь, выравнивания поля температур, потерь при заряде и разряде аккумулятора.

В настоящее время известно большое многообразие видов и конструкций тепловых аккумуляторов с зернистым ТАМ, обусловленное широким спектром областей применения аккумуляторов тепла. Множество методов и способов аккумуляирования приводит к различным техническим и конструктивным решениям (рис. 1):

- тепловые аккумуляторы с твердым ТАМ;
- тепловые аккумуляторы с плавящимся ТАМ;
- жидкостные аккумуляторы тепла;
- паровые аккумуляторы тепла;
- термохимические аккумуляторы;
- тепловые аккумуляторы с электронагревательным элементом.

Традиционно рассматриваются тепловые аккумуляторы с неподвижной или подвижной матрицей. Использование неподвижной матрицы обеспечивает максимальную простоту конструкции, но требует больших масс ТАМ. Кроме этого, температура теплоносителя на выходе из аккумулятора изменяется

в течение времени, что требует дополнительной системы поддержания постоянных параметров путем перепуска.

Канальные тепловые аккумуляторы широко применяются в системах электро-, теплоснабжения, использующих внепиковую энергию. Теплоаккумулялирующий материал (шамот, огнеупорный кирпич и т. п.) нагревается в периоды минимального потребления электроэнергии, что позволяет выравнивать графики загрузки электростанций. Пропуская холодный воздух через матрицу, можно производить

энергии в автономных энергоустановках. Температура их нагрева может достигать 3500 °К, что обеспечивает приемлемые массогабаритные характеристики установки.

Подземные аккумуляторы тепла с горизонтальными каналами применяются для аккумуляции тепла и его использования в течение 2–4 месяцев.

Аккумуляторы тепла в водоносных горизонтах используются для аккумуляции количества тепла, достаточного для теплоснабжения небольшого поселка в течение года. Здесь в качестве ТАМ используется

водопроницаемый слой земли, 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 тепловых аккумуляторов обеспечивает наилучшие экономические характеристики среди подземных аккумуляторов тепла. Очевидно, что недостатками таких видов аккумуляторов являются сложность проектирования для конкретного вида водоносного горизонта, большие энергетические затраты на прокачку теплоносителя.

Использование подвижной матрицы предполагает применение тепловых аккумуляторов, как правило, в виде вращающегося регенератора, устройств с падающими шарами и т. п. Такие аккумуляторы применяются в аппаратах регенерации тепловой энергии и, вследствие малой продолжительности рабочего цикла, они имеют небольшие конструктивные размеры. Для тепловых аккумулято-

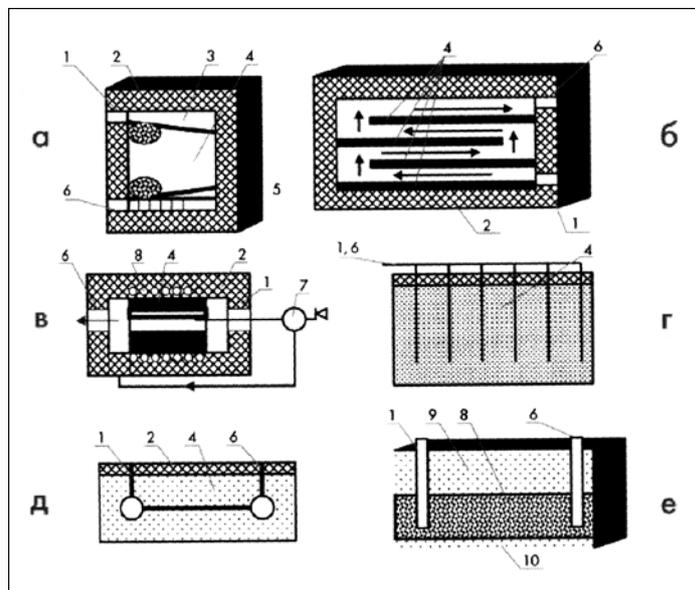


Рис. 1. Основные типы тепловых аккумуляторов с твердым теплоаккумулялирующим материалом: а — с пористой матрицей; б, в — каналные; г, д — подземные с вертикальными и горизонтальными каналами; е — в водоносном горизонте; 1 — вход теплоносителя; 2 — теплоизоляция; 3 — разделительная решетка; 4 — ТАМ; 5 — опоры; 6 — выход теплоносителя; 7 — разделение потоков; 8 — индуктор; 9 — водоносный слой; 10 — водонепроницаемый слой

обогрев помещений. Аккумуляторы данного типа производятся за рубежом серийно для индивидуальных и мало-семейных домов.

Особым типом каналных тепловых аккумуляторов с твердым ТАМ являются тепловые графитовые аккумуляторы, используемые в качестве источника

ров с подвижной матрицей характерна постоянная температура газа на выходе.

Основные показатели аккумуляторов тепла с твердым ТАМ определяются в зависимости от их конструктивных решений и назначения. При этом принимаются допущения о равномерности распределения потоков теплоносителей по площади матрицы, независимости свойств ТАМ и теплоносителей от температуры и ряд других.

При использовании теплоты плавления некоторых веществ для аккумуляции теплоты обеспечивается высокая плотность запасаемой энергии, небольшие перепады температур и стабильная температура на выходе из теплового аккумулятора. Несмотря на это, большинство ТАМ в расплавленном состоянии являются коррозионно-активными веществами, в большинстве своем имеют низкий коэффициент теплопроводности, изменяют объем при плавлении и относительно дороги. В настоящее время известен достаточно широкий спектр веществ, обеспечивающих температуру аккумуляции от 0 до 1400 °С. Необходимо отметить, что широкое применение тепловых аккумуляторов с плавящимся ТАМ сдерживается, прежде всего, соображениями экономичности создаваемых установок.

При небольших рабочих температурах (до 120 °С) рекомендуется применение кристаллогидратов неорганических солей, что связано, в первую очередь, с использованием в качестве ТАМ природных веществ. Для реального применения рассматриваются только вещества, не разлагающиеся при плавлении либо растворяющиеся в избыточной воде, входящей в состав ТАМ.

Использование органических веществ полностью снимает вопросы коррозионного разрушения корпуса, обеспечивает высокие плотности запасаемой энергии, достаточно хорошие технико-экономические показатели. Однако в процессе работы теплового аккумулятора с органическими ТАМ

происходит снижение теплоты плавления вследствие разрушения протяженных цепочек молекул полимеров. Из-за низкого коэффициента теплопроводности органических ТАМ требуется создание и применение развитых поверхностей теплообмена, что,

Применение разнообразных теплоаккумулирующих материалов требует разработки надежных конструктивных решений, направленных на максимальное использование положительных качеств ТАМ и исключение их недостатков (рис. 2).

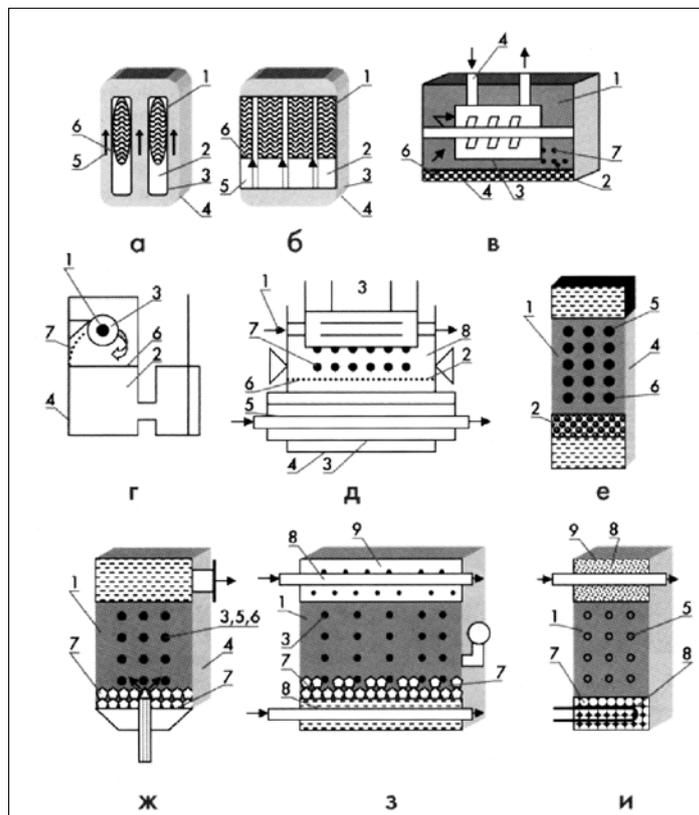


Рис. 2. Основные типы тепловых аккумуляторов фазового перехода: а — капсульный; б — кожухо-трубный; в, г — со скребковым удалением ТАМ; д — с ультразвуковым удалением ТАМ; е, ж — с прямым контактом и прокачкой ТАМ; з, и — с испарительно-конвективным переносом тепла; 1 — жидкий ТАМ; 2 — твердый ТАМ; 3 — поверхность теплообмена; 4 — корпус теплового аккумулятора; 5 — теплоноситель; 6 — граница раздела фаз; 7 — частицы твердого ТАМ; 8 — промежуточный теплообменник; 9 — паровое и жидкостное пространство для теплоносителя

в свою очередь, накладывает конструктивные ограничения на использование теплового аккумулятора.

При рабочих температурах от 500 до 1600 °С применяются, как правило, соединения и сплавы щелочных и щелочноземельных металлов. Существенным недостатком применения соединений металлов принято считать низкий коэффициент теплопроводности, коррозионную активность, изменение объема при плавлении. Для защиты от химической коррозии, очевидно, необходимо подобрать конструкционные материалы или ингибиторы коррозии, обеспечивающие заданный срок службы теплового аккумулятора.

Перспективно использовать смеси и сплавы органических и неорганических веществ, позволяющие обеспечивать необходимые значения температур плавления и большие сроки службы.

Размещение ТАМ в капсулах (рис. 2 а) обеспечивает высокую надежность конструкции, позволяет создавать развитую поверхность теплообмена, компенсировать (при использовании гибких капсул) изменение объема в процессе фазовых переходов. Однако вследствие низкой теплопроводности ТАМ необходимо большое число капсул малого размера, что приводит к большой трудоемкости изготовления теплового аккумулятора. Поэтому целесообразным является применение капсульных тепловых аккумуляторов в случаях малых тепловых потоков, отводимых теплообменной поверхностью.

Расположение ТАМ в межтрубном пространстве кожухо-трубного теплообменника (рис. 2 б) обеспечивает рациональное использование внутреннего объема теплового аккумулятора и применение традиционных технологий изготовления теплообменных аппаратов. Однако при такой конструкции затруднено обеспечение свободного расширения ТАМ, вследствие чего понижена надежность аккумулятора в целом.

Самым технологически сложным и дорогим элементом теплового аккумулятора традиционной конструкции является теплообменная поверхность. Вследствие низких коэффициентов теплопроводности большинства плавящихся ТАМ, в настоящее время предложены различные способы уменьшения поверхности теплообмена путем соскребания ТАМ (рис. 2 в, 2 г), путем ультразвукового либо электрогидравлического разрушения затвердевшего ТАМ (рис. 2 д). Указанные выше способы позволяют существенно снизить величину термического сопротивления теплообменной поверхности, но в то же время они в несколько раз увеличивают нагрузки на конструктивные элементы аккумулятора.

Известно, что лучшим вариантом теплообменной поверхности является ее полное отсутствие, т. е. непосред-



венный контакт теплоаккумулирующего материала и теплоносителя. Очевидно, что в этом случае необходимо подбирать как теплоаккумулирующие материалы, так и теплоносители по признакам, обеспечивающим работоспособность конструкций.

Теплоаккумулирующие материалы в этом случае должны отвечать следующим требованиям:

- кристаллизоваться отдельными кристаллами;
- иметь большую разность плотностей твердой и жидкой фаз;
- быть химически стабильными;
- не образовывать эмульсий с теплоносителем.

Теплоносители подбираются по следующим признакам:

- химическая стабильность в смеси с ТАМ;
- большая разница плотностей по отношению к ТАМ;
- малая способность к вспениванию;
- и ряд других требований, вытекающих из особенностей конструкции.

При использовании более плотного теплоносителя, чем твердый ТАМ, реализуется схема, изображенная на рис. 2 е. В процессе работы аккумулятора заполнен смесью теплоаккумулирующего материала и теплоносителя. В верхнюю часть теплового аккумулятора подается жидкий теплоноситель, который попадает на поверхность ТАМ, охлаждает (нагревает) его и отводится из нижней части аккумулятора. За счет меньшей плотности жидкой фазы ТАМ, по сравнению с твердой, его закристаллизовавшиеся частицы опускаются в нижнюю часть аккумулятора. В дальнейшем происходит постепенное заполнение всего объема закристаллизовавшимися ТАМ. При использовании теплоносителя с плотностью, меньшей плотности ТАМ, реализуется схема, изображенная на рис. 2 ж. Распыл теплоносителя происходит в нижней части аккумулятора. В процессе всплытия капель теплоносителя ТАМ нагревается либо охлаждается и одновременно интенсивно перемешивается. Очевидно, основными недостатками приведенных способов контакта ТАМ и теплоносителя являются потребности в постороннем источнике энергии для прокачки и необходимость тщательной фильтрации теплоносителя с целью препятствия уносу частиц ТАМ.

Указанные недостатки отсутствуют в конструкции, использующей принцип испарительно-конвективного переноса тепла при непосредственном контакте ТАМ и теплоносителя (рис. 2 з). Для обеспечения работоспособности теплового аккумулятора необходимо, чтобы температура кипения теплоносителя

при атмосферном давлении была несколько ниже температуры плавления ТАМ. Для заряда аккумулятора давление и, соответственно, температура кипения теплоносителя в нем устанавливаются выше температуры плавления ТАМ. В зарядном теплообменнике осуществляется подвод тепла. Теплоноситель закипает, и пузырьки пара при температуре выше температуры плавления ТАМ поднимаются вверх и подогревают ТАМ. При этом происходит плавление ТАМ и конденсация теплоносителя. Расплавленный ТАМ поднимается вверх, а конденсат теплоносителя опускается вниз. По мере плавления ТАМ пузырьки теплоносителя выходят в паровое пространство теплового аккумулятора, и в конце процесса зарядки теплоноситель в паровой фазе находится в паровом пространстве. На этапе отвода тепла от теплового аккумулятора давление в нем снижается так, что температура конденсации теплоносителя становится ниже температуры плавления ТАМ. При отводе тепла на поверхности зарядного теплообменника происходит конденсация теплоносителя, который стекает на расплавленный ТАМ. В результате происходит испарение капель теплоносителя и кристаллизация частиц ТАМ. Затвердевший ТАМ опускается в нижнюю часть теплового аккумулятора, а пар теплоносителя поднимается вверх. По мере охлаждения ТАМ капли теплоносителя опускаются все ниже и ниже, и в конце разрядки весь теплоноситель оказывается в нижней части теплового аккумулятора.

Наибольшее распространение получили жидкостные тепловые аккумуляторы. О таких аккумуляторах говорится во многих опубликованных работах, поэтому в данном обзоре они не рассматриваются.

Паровые тепловые аккумуляторы конструктивно могут быть выполнены в виде:

- стального цельносварного корпуса;
- сосуда из предварительно напряженного железобетона или чугуна;
- подземного резервуара высокого давления.

Большие габариты, значительная трудоемкость и сложность в из-

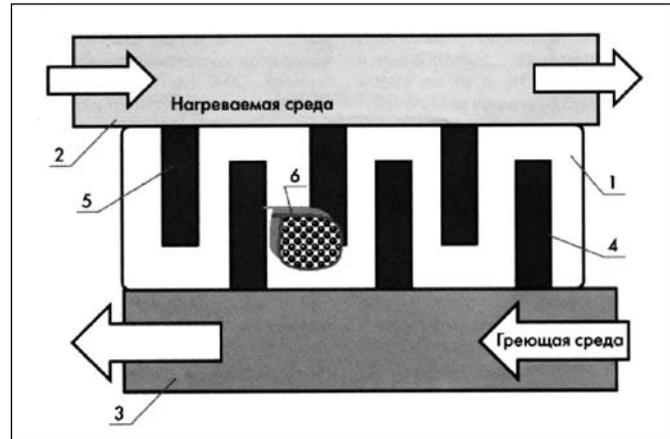


Рис. 3. Конструкция теплового аккумулятора с тепловыми трубами: 1 — тепловой аккумулятор с зернистой матрицей; 2 — коллектор с нагреваемой средой; 3 — коллектор-газоход с греющей средой; 4, 5 — подводящие и отводящие теплоту тепловые трубы соответственно; 6 — зернистая масса

готовлении, затрудненный контроль и осмотр (при подземном размещении) тепловых аккумуляторов такого типа препятствует их широкому распространению.

Использование термохимических циклов в тепловых аккумуляторах основывается на принципе возникновения химического потенциала в результате обратимой химической реакции в неравновесном состоянии. Важным преимуществом химических способов аккумуляции тепловой энергии, по сравнению с обычными, является то, что запасенная энергия может храниться достаточно длительное время без применения тепловой изоляции, облегчены проблемы транспорта энергии на значительные расстояния.

Конструкция теплового аккумулятора с тепловыми трубами к теплогенерирующей установке приведена на рис. 3. Тепловой аккумулятор устанавливается в хвостовой части котла: в газоход помещаются испарительные части тепловых труб, а конденсаторы размещены в зернистой массе. Между подводящими теплоту тепловыми трубами установлены также тепловые трубы, отводящие теплоту от зернистой массы.

К преимуществам использования в качестве теплообменных поверхностей тепловых аккумуляторов тепловых труб следует отнести простоту компоновки, надежность и стабильность работы, меньшие гидравлические потери в газовом тракте.

Таким образом, применение аккумуляторов теплоты в системах теплоснабжения позволит повысить эффективность использования топлива, шире применять вторичные энергоресурсы, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

*О. А. Сотникова,
В. С. Турбин,
В. А. Григорьев*