

УДК 629.06

Э.С. АППАЗОВ

Херсонский национальный технический университет

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПРЕДПУСКОВОЙ ПОДГОТОВКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье рассмотрены основные типы и принципы конструирования тепловых аккумуляторов. Приведены основные требования, предъявляемые к теплоаккумулирующим материалам и изделиям в целом. Определены основные направления развития мобильных теплоаккумуляторов для применения в наземном транспорте. По результатам моделирования процессов накопления, хранения, разряда теплоаккумулятора определена ориентировочная тепловая емкость, необходимая для эффективного применения в автомобильном транспорте.

Ключевые слова: тепловой аккумулятор, предпусковой подогрев, теплоаккумулирующий материал.

E.S. APPAZOV

Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

## THE USE OF HEAT BATTERY FOR PRE-STARTING PREPARATION OF AUTOMOBILE ENGINES

### Abstract

The article considers the main types and principles of design of heat accumulators. Are the basic requirements to the transitions of materials and articles in sum. Defines the main directions of the development of mobile heat battery for use in surface transport. It is shown that the most promising, but the most technically sophisticated way of accumulation thermal energy is thermochemical reaction. By the results of modelling processes of accumulation, storage, discharge of the storage tank is defined approximate thermal capacity required to effectively use in road transport, the list of materials applicable for this product. On the basis of calculations will be developed design of the heat exchanger and selected thermal energy storage material, which will create a heat accumulator to pre-heat the preparation of internal combustion engines.

Keywords: heat battery, pre-heating, thermal energy storage material.

Сохранение и поддержание рабочей температуры двигателя внутреннего сгорания является важной и актуальной задачей. При этом наиболее привлекательным с экономической и технической точки зрения является аккумулирование паразитного тепла, выделяемого при работе двигателя внутреннего сгорания с последующим его использованием для предпускового подогрева.

Наиболее простым способом аккумулирования тепла является емкость с охлаждающей жидкостью, изолированная от теплообмена с окружающей средой и штатной системой охлаждения. При разрядке аккумулятора горячая и холодная жидкости находятся в одном сосуде (как правило, вертикальном), охлажденная жидкость выталкивает нагретую. Вследствие теплопроводности воды и стенок сосуда, а также турбулизации во время заряда и разряда будет формироваться температурная переходная зона (зона смешения), наличие которой приводит к снижению эффективности теплообмена за счет уменьшения градиента температур. Необходимое распределение (движение) входящей жидкости обеспечивается применением горизонтальных дисков, препятствующих турбулизации жидкости, лабиринтных каналов, ламинаторов (рис. 1).



Рис. 1. Тепловой аккумулятор CENTAUR [1]

Однако данный тип аккумуляторов имеет наиболее низкую удельную емкость, и, как следствие, наибольшие габариты. Это обстоятельство не позволяет рассчитывать на его применение в современном автомобиле ввиду недостатка объема из-за плотного размещения узлов и агрегатов в подкапотном

пространстве. Размещение теплоаккумулятора в салоне или багажнике автомобиля связано с уменьшением полезного объема, что снижает потребительские качества, привлекательность данного устройства, а также усложняет установку и увеличивает тепловые потери.

Наиболее приемлемым с практической точки зрения решением является использование теплоаккумулятора на основе фазового перехода: твердое тело – жидкость (плавящихся теплоаккумулирующих материалов). При этом, кроме теплоты фазового перехода, используется теплота нагрева твердой и жидкой фазы. Достоинством таких конструкций является высокая удельная тепловая емкость, обуславливающая компактность конструкции. Кроме того, постоянство их температуры разряда обеспечивает большую эффективность, чем понижающаяся температура систем аккумуляирования с нагретым теплоносителем.

Емкость теплового аккумулятора на основе фазового перехода определяется не только изменением температуры, но и агрегатного состояния вещества, и может быть определена выражением:

$$H = c_{тв} (T_{ф} - T_1) + \Delta h_{ф} + c_{ж} (T_2 - T_{ф}),$$

где  $c_{тв}$  – удельная теплоемкость твердой фазы;  
 $\Delta h_{ф}$  – энтальпия фазового перехода;  
 $c_{ж}$  – удельная теплоемкость жидкой фазы.

Наибольшее количество тепла может быть аккумуляровано при переходе из жидкой фазы в газообразную, однако ввиду низкой объемной емкости применение таких аккумуляторов в автомобильном транспорте технически нецелесообразно. В большинстве случаев используются системы с плавящимся теплоаккумулирующим материалом.

Для аккумулярующей среды с использованием теплоты фазового перехода необходимы следующие условия:

- низкая стоимость;
- высокая энтальпия фазового перехода и плотность;
- температура плавления, необходимая для конкретных условий (80 – 97°C);
- высокая теплопроводность в твердой и жидкой фазах;
- высокая теплоемкость в твердой и жидкой фазах;
- достаточная стойкость к термоциклированию, температурная стабильность;
- отсутствие возможности переохлаждения при затвердевании и перегрева при плавлении;
- низкий коэффициент термического расширения, незначительное изменение объема при плавлении;
- слабая химическая активность;
- безопасность (отсутствие вредных воздействий на окружающую среду и персонал при производстве и эксплуатации).

Емкость, в которой размещен теплоаккумулирующий материал (капсула, теплообменник), должна соответствовать следующим требованиям:

- надежность изоляции аккумулярующей среды от охлаждающей жидкости;
- обеспечение эффективности теплопередачи в процессе заряда – разряда;
- целостность при изменении давления теплоаккумулирующей среды в процессе плавления;
- минимизация тепловых потерь в процессе хранения заряда;
- химическая стабильность под действием аккумулярующей среды;
- технологичность изготовления.

В настоящее время наиболее пригодными для теплоаккумуляторов с температурой плавления до 100°C считаются парафины, представляющие собой смесь алифатических углеводородов, также называемых предельными углеводородами. Может применяться другая органика, например, такие природные олигомеры, как воск. Прежде всего это воск растительного и животного происхождения: буроугольный, карнаубский, канделильский, семеновский, технический, церезин, озокерит и др [3]. Внимание разработчиков объясняется уникальными свойствами парафинов:

- сравнительно высокая теплота фазового перехода;
- отсутствие эффекта переохлаждения;
- низкий коэффициент вязкости;
- парафин в жидком состоянии не смешивается с водой;
- химически инертны по отношению к почти всем материалам;
- парафины долговечны и стабильны при циклическом изменении агрегатного состояния;
- пожаробезопасны, поскольку температура воспламенения намного выше 250°C;
- стабильность свойств при перегреве до 250°C;
- парафины не кипят, а значит нет опасности возникновения высокого давления пара даже при превышении рабочих температур;

- экологически безвредные продукты, полностью регенерируемые;
- не токсичны при производстве аккумуляторов, не испаряются при нагревании.

Парафины обладают удельной теплотой плавления 50 -180 кДж/кг, при этом являясь устойчивыми к термоциклированию и химически инертными. Вязкость жидкой фазы низкая, что приводит к более интенсивной конвекции в жидкой фазе, следовательно, к более интенсивному теплообмену при плавлении. Поскольку парафины химически инертны, расширяется спектр материалов, пригодных для производства капсул и теплообменников. В процессе работы теплоаккумулятора в них не происходит химических реакций, поэтому свойства системы сохраняются продолжительное время.

Сложности при проектировании теплоаккумуляторов с фазовым переходом на основе парафинов связаны, прежде всего, с низким коэффициентом теплопроводности (примерно 0,12-017 Вт/(м<sup>2</sup>К)), что приводит к изменению конструкции теплообменников, увеличению площади поверхности контакта, поскольку возникает необходимость предусмотреть меры по улучшению теплообмена между теплоаккумулирующим материалом и теплоносителем. Кроме того, изменение плотности при фазовом переходе (плавлении) также усложняет конструкцию, поскольку приводит к необходимости применения технических решений, позволяющих компенсировать изменение объема. К таким решениям можно отнести создание свободных полостей внутри капсул, направленно деформирующихся корпусов и теплообменников. Это усложняет технологию производства, что в конечном итоге приводит к удорожанию конструкции. Для автомобильных теплоаккумуляторов наиболее оптимальным является размещение теплоаккумулирующего материала в отдельных капсулах либо в межтрубном пространстве.

Размещение теплоаккумулирующего материала в капсулах простой формы (рис. 2. а) обеспечивает высокую надежность конструкции, позволяет создавать развитую поверхность теплообмена, компенсировать (при использовании гибких капсул) изменение объема в процессе фазовых переходов [4]. Однако, вследствие низкой теплопроводности теплоаккумулирующего материала, необходимо большое количество капсул малого размера, что приводит к увеличению трудоемкости изготовления теплового аккумулятора.

Расположение теплоаккумулирующего материала в межтрубном пространстве теплообменника (рис. 2 б) обеспечивает рациональное использование внутреннего объема теплового аккумулятора и применение традиционных технологий изготовления теплообменных аппаратов [5]. Однако при такой конструкции усложняется конструкция теплообменника, его металлоемкость. Кроме того, затруднено обеспечение свободного расширения теплоаккумулирующего материала, вследствие чего понижена надежность аккумулятора в целом.

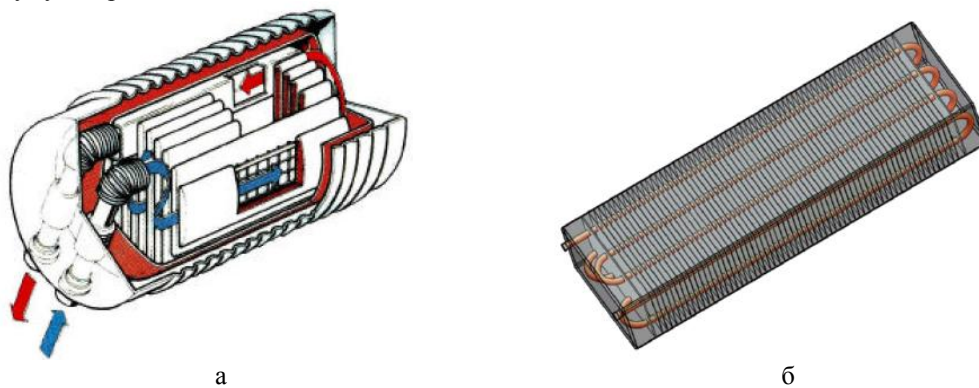


Рис. 2. Конструкция мобильного теплоаккумулятора:

- а – с размещением плавящегося теплоаккумулирующего материала в отдельных капсулах;  
б – с размещением плавящегося теплоаккумулирующего материала в межтрубном пространстве

Альтернативой применению парафинов и технических восков в качестве плавящихся теплоаккумулирующих материалов являются кристаллогидраты [6]. Основными достоинствами данных соединений являются высокая удельная теплота плавления (140 – 320 кДж/кг) и более высокий коэффициент теплопроводности. Однако существует и ряд трудностей, ограничивающих использование данных веществ в мобильных теплоаккумуляторах. Прежде всего, речь идет об эффекте переохлаждения расплава, когда кристаллизация происходит при температуре, значительно ниже температуры плавления. Это вызывает необходимость введения в термоаккумулирующий состав зародышей, способствующих равномерному распределению фронта кристаллизации в объеме материала. Также необходимо введение загустителей, препятствующих отслаиванию материала зародышей от основного. При этом вещества не должны вступать в химические реакции, разлагаться под действием высоких температур. Кроме того, все компоненты должны демонстрировать высокий уровень термостабильности и быть инертными к материалам корпуса теплоаккумулятора.

Аккумуляция тепловой энергии при помощи химической реакции (как правило, разложение вещества на компоненты) на сегодняшний день являются наименее изученными. Связано это со сложностью стабилизации химической реакции, необходимостью разделения, а зачастую и раздельного хранения компонентов. Это обстоятельство снижает надежность, ресурс и повышает стоимость готового изделия. При этом удельная тепловая емкость 1,2 – 3,8 МДж/кг привлекает внимание разработчиков данных систем [7].

При проектировании теплоаккумулирующей системы необходимо правильно выбрать не только емкость аккумулятора, но и мощность заряда. От емкости зависят, прежде всего, массогабаритные характеристики аккумулятора, количество теплоаккумулирующего материала. От мощности заряда зависит внутреннее устройство, тип теплообменных аппаратов, площадь поверхности теплообмена. Эти обстоятельства напрямую влияют на потребительские качества изделия. Проведенные моделирования процесса накопления, хранения и разряда теплоаккумулирующего материала на основе парафинов и технических восков показывают, что для предпускового нагрева двигателя общей массой 150 кг на 50°C необходима тепловая емкость около 1500 кДж. При условии использования плавящегося теплоаккумулирующего материала на основе парафинов и технических восков объем теплоаккумулятора может быть ограничен 6 л, а при использовании материала на основе кристаллогидратов – 4,5 л. При этом время тепловой подготовки двигателя не должно превышать 5 мин.

### Литература

1. <http://ru.teplowiki.org>
2. Бекман Г., Гили П. Тепловое аккумулярование энергии: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
3. Пыхтя В. А. Экспериментальные исследования системы предпускового разогрева двигателя с тепловым аккумулятором // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 6 (148). – С. 246-251.
4. Baugh, J., Ray, W and Black, W., (1987). Motor vehicle emissions under reduced ambient temperature idle operating conditions. *Atmospheric Environment*, 10: 2077 – 2082.
5. Trapani K. Novel design of a portable heat energy storage device adopting a phase change material for CHP and solar energy applications // BSc. Renewable Energy Final Year Dissertation.- Submitted 27 May 2010.
6. Александров В. Д., Соболев О. В., Фролова С. А. и др. Теплоаккумулирующие материалы на основе кристаллогидратов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – №11(75). – 2009. – С. 100-106.
7. Abedin Ali H., Rosen Marc A. A critical review of thermochemical energy storage systems // *The Open Renewable Energy Journal*, 2011, 4, p. 42-46.

### References

1. <http://ru.teplowiki.org>
2. Bekman G., Gili P. Teplovoe akkumulirovanie jenerгии: Per. s angl. – M.: Mir, 1987. – 272 s.
3. Pyhtja V. A. Jeksperimental'nye issledovanija sistemy predpuskovogo razogreva dvigatelja s teplovym akkumuljatorom. // Visnik Shidnoukrains'kogo nacional'nogo universitetu im. Volodimira Dalja – 2010. - № 6 (148). – S. 246 – 251.
4. Baugh, J., Ray, W and Black, W., (1987). Motor vehicle emissions under reduced ambient temperature idle operating conditions. *Atmospheric Environment*, 10: 2077 – 2082.
5. Trapani K. Novel design of a portable heat energy storage device adopting a phase change material for CHP and solar energy applications // BSc. Renewable Energy Final Year Dissertation.- Submitted 27 May 2010.
6. Aleksandrov V. D., Sobol' O. V., Frolova S. A. i dr. Teploakkumulirujushhie materialy na osnove kristallogidratov // Visnik Donbas'koi nacional'noi akademii budivnictva i arhitekturi. - №11(75) – 2009, s. 100-106.
7. Abedin Ali H., Rosen Marc A. A critical review of thermochemical energy storage systems // *The Open Renewable Energy Journal*, 2011, 4, r. 42-46.