

УДК 536.491

А.В. Жлобич, доцент;

Е.С. Санкович, ст. преподаватель

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

A thermal regenerator (the heat accumulator) with a phase change material is discussed. Data for the parameters of some materials are reported. The state of a problem was given in short.

В последнее время повысилось внимание к тепловым аккумуляторам (ТА), работающим в режиме регенератора-теплообменника. Компактностью и относительно малой массой отличаются регенераторы газовых турбин, устанавливаемых на транспортных средствах. Часто применяют регенеративные аппараты вращающейся конструкции [1]. В аппаратах с "кипящим слоем" иногда используют гранулы, заполненные веществом с низкой температурой плавления. Ниже обсуждаются ТА именно такого типа, т.е. работающие с фазовым переходом теплоаккумулирующего вещества (ТАВ).

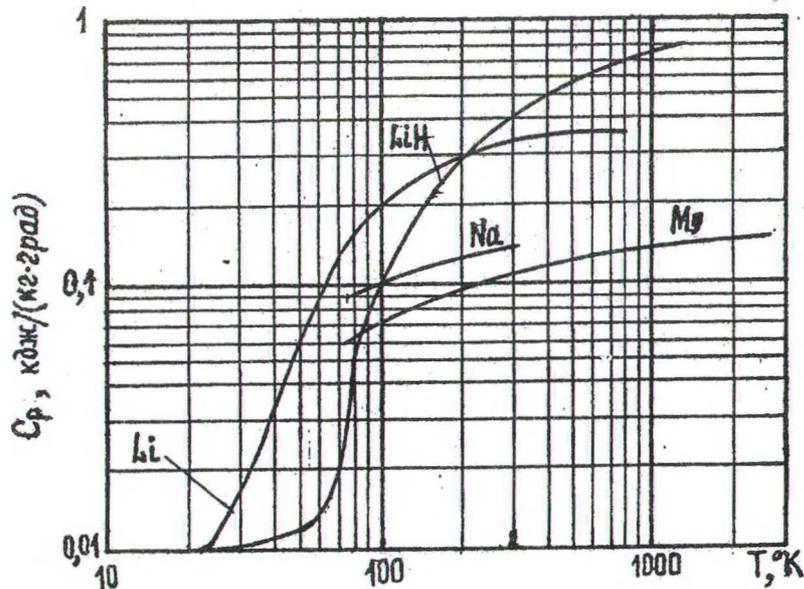


Рис.1. Зависимость удельной изобарной теплоемкости ТАВ от температуры

Интерес к созданию эффективных ТА начал проявляться давно и усилился в связи с проблемой энергетического обеспечения подводных

подвижных аппаратов, космических кораблей и спутников [2]. Будучи периодически действующим, ТА накапливает солнечную энергию на освещенной стороне Земли, а при полете в тени Земли - энергию отдает. Например, в одном из полетов корабля на низкой орбите освещенный участок занимал 58 минут, а теневой - 36 минут.

Подобные установки с ТА могут оказаться полезными и в наземных условиях, поскольку, например, в течение суток изменяется потребление горячей воды. Как и в условиях космоса, для нагрева воды с помощью ТА может использоваться солнечная энергия. В этом случае ТА будет выполнять функцию теплового регулятора.

Выбор ТАВ ограничен, поскольку они должны удовлетворять ряду требований, плохо совместимых. К этим требованиям, свойствам ТАВ относятся:

- а) высокие теплоемкость (c_p , c_v), теплопроводность (λ), плотность (ρ);
- б) большие значения скрытой теплоты плавления (r_m);
- в) химическая стойкость, невоспламеняемость и нетоксичность;
- г) наличие готового материала, низкая стоимость.

Количество тепла, накапливаемое веществом массой m при его нагреве от температуры t_1 до t_2 и плавлением, равно

$$Q = m \cdot (c_{p2} \cdot t_2 - c_{p1} \cdot t_1) + m \cdot r_m,$$

где t_2 - температура, равная температуре t_m вещества.

Хотя теплоемкость веществ возрастает с повышением температуры, этот рост не беспредельный. Согласно эмпирическому закону Дюлонга и Пти, удельная изохорная теплоемкость кристаллического твердого тела равна $c_v = 3 \cdot R$, где R - молярная газовая постоянная. При низких температурах теплоемкость твердых тел в зависимости от температуры T , K определяется по уравнению Дебая [3], которое в общем виде можно представить как

$$c_v = 3 \cdot R \cdot f(\theta / T),$$

где f - универсальная функция;

θ - характеристическая температура.

Закон Дюлонга и Пти следует рассматривать как предельный случай, вытекающий из уравнения Дебая. На рис. 1 показаны кривые температурной зависимости удельной изобарной теплоемкости для ряда веществ, взятые из работы [2]. Для сравнения в таблице 1 приведены значения основных теплофизических параметров элементов, соединения которых предположительно могут применяться в качестве ТАВ для "горячих" аккумуляторов [3].

Таблица

Элемент	ρ , кг/м ³	$t_{пл}$, °С	c_p , кДж/(кг·К) *)	$r_{пл}$, кДж/кг	λ , Вт/(м·К) **)
Алюминий, Al	2684	660,1	0,88	322-394	209
Калий, K	868	63,2	0,76	60,8	100
Литий, Li	534	180	4,40	628	68
Натрий, Na	971	97,8	1,30	113	109

*) При температуре +20°C.

**) При температуре 0°C.

Обращает на себя внимание литий, как наиболее легкий, который так же, как натрий и калий, относится к подгруппе щелочных металлов. Все они имеют высокую химическую активность, возрастающую от лития к францию. Если франций принадлежит к самым редчайшим элементам Земли, то добыча лития составляет тысячи тонн в год. Природный литий представляет смесь двух стабильных изотопов: Li^6 (7,5%) и Li^7 (92,5%).

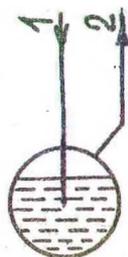


Рис.2. ТА с насыщенным водяным паром

В тепловых аккумуляторах применяют как чистый литий, так и его соединения: гидрид LiH , гидроксид $LiOH$, фториды LiF , LiF_2 . По данным [2] и другим источникам, в одной из орбитальных энергоустановок ТА работал с ТАВ в виде эвтектики CaF_2-LiF с $t_{пл}=768^\circ C$. Уточним,

что эвтектическая смесь состояла из солей в соотношении $LiF-80,5\%$, $CaF_2-19,5\%$. Во время испытаний произведено 3245 термоциклов в течение 5084 часов.

Выполняются исследования по использованию в ТА парафинов, представляющих смесь твердых предельных углеводородов с $t_{пл}=42-54^\circ C$, $\rho=881-905$ кг/м³, теплотой плавления $r_{пл}=166$ кДж/кг и более [4]. Парафинам присущи такие положительные свойства, как нетоксичность, антикоррозийность, относительная дешевизна, но при их использовании требуется обеспечивать пожаробезопасность.

В качестве ТАВ могут служить гидраты некоторых солей, например глауберова соль $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$. Она плавится при температуре около $32^\circ C$, а на разрушение кристаллической структуры затрачивается ≈ 67 Вт·час/кг энергии [4].

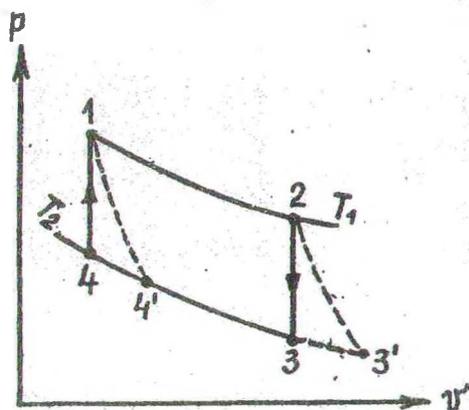


Рис.3. Совмещенные циклы
Стирлинга и Карно

изоляция стенок. В свою очередь, необходима высокая теплопроводность ТАВ в объеме аккумулятора, обеспечивающая равномерный и быстрый нагрев, равно как и сброс тепла. Переходные процессы требуют ясности по динамике границы раздела фаз.

Примером практического использования ТА служит принципиальная схема разогрева двигателя внутреннего сгорания, предложенная сотрудниками одного из институтов России [5]. Основой ТА служит теплообменный аппарат кожухотрубного типа, состоящий из пучков труб. Между газовой и жидкостной полостями находится ТАВ, вид которого авторы не сообщают.

В процессе теплообмена с отработавшими газами происходит нагрев ТАВ, т.е. зарядка аккумулятора. Накопленное тепло используется позднее для разогрева при пуске двигателя.

Иногда может быть применен тепловой аккумулятор с насыщенным водяным паром. В таком ТА (рис.2) накопителем энергии (эксергии) служит вода, а энергоносителем - пар. При зарядке по трубе 1 подается пар, который полностью конденсируется и повышает давление в емкости. Напротив, во время работы ТА пар по трубе 2 отводится из парового пространства; естественно, при этом давление в емкости снижается. Задачу поддержания постоянного давления в определенной мере решает ТА с перегретой водой. У него колебания давления происходят лишь в связи с изменением доли объема, занятой жидкой фазой.

Тепловой аккумулятор может быть использован непосредственно в тепловой установке. Примером является двигатель Стирлинга, работающий по замкнутому циклу при подводе тепла от различных внешних источников [6]. В тщательно уплотненном цилиндре двигателя используется газообразное рабочее тело (водород, гелий, воздух), по-

Поиск эффективных ТАВ должен быть продолжен, поскольку некоторые из них не удовлетворяют требованиям из-за высокой стоимости, взрывоопасности, токсичности, коррозионной активности и т.д.

Широкое внедрение ТА связано с преодолением значительных трудностей. Авторы работы [2] считают, что судьба аккумулятора определяется прежде всего качеством тепло-

этому двигатель не имеет выпускной системы и клапанного механизма. Подвод и отвод энергии в двигателе производится через стенки цилиндра или теплообменник.

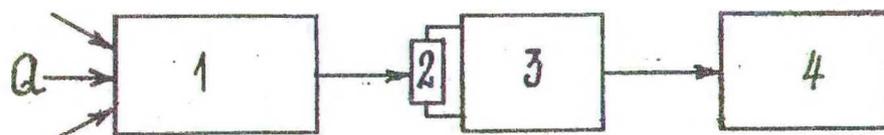


Рис.4. Зависимость удельной изобарной теплоемкости ТАВ от температуры

Идеальный цикл Стирлинга (рис.3) отличается термодинамическим совершенством, поскольку процессы подвода и отвода тепла в нем - изотермические. В координатах $p-v$ изображены для сравнения: идеальный цикл Стирлинга 1-2-3-4 и цикл Карно 1-2-3'-4'-1 при одинаковых изотермах T_1 и T_2 . Хотя в цикле Стирлинга процессы 2-3 и 4-1 изохорные, анализ показывает, что термические к.п.д. у обоих циклов одинаковые, т.е.

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{T_2}{T_1} \right).$$

На рис.4 изображена принципиальная схема силовой установки с двигателем Стирлинга и тепловым аккумулятором. Первичным источником энергии для ТА может быть любой: органическое топливо, солнечное излучение, радиоактивные изотопы и др. Для переноса тепла из аккумулятора к двигателю Стирлинга предлагается использовать тепловые трубы, обладающие сверхтеплопроводностью [7]. Существенным показателем работы для этой схемы является время зарядки и время разрядки ТА.

Таким образом, в настоящее время имеется набор ТАВ, разработаны конструкции ТА, но требуются дальнейшие усилия для широкого внедрения тепловых аккумуляторов в различные отрасли хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левданский Э., Левданский А., Плехов И. Пути сбережения расхода теплоносителя на обогрев гражданских и промышленных зданий // Архитектура и строительство №№ 2-3, 1996.
2. Бурдаков В.П., Данилов Ю.И. Физические проблемы космической тяговой энергетики. М.: Атомиздат, 1969.
3. Теплотехнический справочник. Т.1, Т.2. М.: Энергия, 1975, 1976.
4. Бринкворт Б.Дж. Солнечная энергия для человека. М.: Мир, 1976.

5. Гулин С.Д., Шульгин В.В., Яковлев С.А. Система разогрева двигателя с помощью теплового аккумулятора // Лесная промышленность № 3, 1996 .
6. Ридер Г., Хупер И. Двигатели Стирлинга. М.: Мир, 1986.
7. Дан П., Рей Д. Тепловые трубы. М.: Энергия, 1979.

УДК 621.226.5:630.377.45

Е.Ф.Волобуев, с.н.с.;

Л.Ф.Доронин, инж.;

Я.И.Остриков, доц.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА

There are the method of determination loading regimes to details of forest motor transport.

Одной из актуальнейших задач современного автомобилестроения является повышение надежности автомобильной техники. Для сокращения сроков проектирования новых и доводки серийных моделей лесовозных автопоездов (ЛАП), а также повышения долговечности их узлов и агрегатов в настоящее время приоритет отдается работам по созданию методик и программ расчета на ЭВМ, направленных на решение таких задач.

Наилучшие результаты при этом можно получить методом имитационного моделирования в сочетании с широким использованием возможностей ЭВМ. Этот метод позволяет рассчитывать динамические процессы в нелинейных системах без ограничения числа и вида нелинейностей, наличие которых весьма характерно для ЛАП. Суть его заключается в том, что поведение масс динамической системы автопоезда описывается системой дифференциальных уравнений с сохранением логической структуры и физического содержания явлений и последовательности их чередования во времени, реализуемой на ЭВМ методами численного интегрирования со статистической обработкой выходных переменных. Полученные в результате интегрирования перемещения масс и их скорости позволяют определить мгновенные значения силовых и других факторов в интересующих зонах автопоезда - динамическую нагруженность.

Нагрузочный режим, определяющий усталостную прочность узлов и агрегатов автопоезда, зависит от его параметров движения, технических характеристик и конструктивных особенностей. В частности, на нагрузочный режим трансмиссии тягача ЛАП наиболее существенное влияние ока-