Оценка эффективности использования массы теплового аккумулятора

Куколев М.И.[1]
Петрозаводский государственный университет

Предложен метод оценки эффективности использования массы теплового аккумулятора с помощью эксергетического анализа. Вводятся коэффициенты использования массы при разряде, заряде и максимально возможный для данных условий теплоподвода. Метод предназначен для сравнения проектируемых или уже существующих конструкций.

Ключевые слова: *тепловой аккумулятор, проектирование, эксергетический анализ.*

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация лесозаготовительной техники в России характеризуется большим объемом зимних работ. Низкие температуры отрицательно сказываются на функционировании основных узлов машин, повышая износ деталей. Решением проблемы предпускового разогрева двигателя и облегчения условий труда является применение различных подогревателей, в том числе тепловых аккумуляторов [1, 2].

Проводимые в различных странах опыты по установке тепловых аккумуляторов на автомобили [3, 4] показали, что при запуске двигателей после разогрева от теплового аккумулятора сокращается время запуска, снижаются выброс CO на 55% и выброс CH на 12%. Экономия топлива может достигать 30% для бензиновых и 8% для дизельных двигателей [5].

В случае, если энергия теплового аккумулятора используется не только для разогрева, но и для создания пускового момента на валу двигателя, становится актуальной разработка метода расчета параметров системы на основе эксергетического анализа [2] . Как показали исследования Розена (Rosen), Хупера (Hooper), Барбариса (Barbaris) [6], чисто энергетический подход не позволяет учесть ряд аспектов, связанных с внешней и внутренней необратимостью реально протекающих процессов. Эксергией тепла называется часть энергии, которая может быть преобразована в полезную работу при теплообмене в определенных условиях. Рассмотрим некоторые возможности, которые открывает применение понятия эксергии к оценке эффективности использования массы теплового аккумулятора (ТА) с фазовым переходом твердое тело - жидкость.

ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Общая масса ТА складывается из массы конструкции и массы теплоаккумулирующего вещества (ТАВ).

Требуемая масса ТАВ определяется как

$$M = \frac{N_o \cdot \tau}{L \cdot \eta_\Sigma}, \qquad (1)$$

где

N_O - отводимая тепловая мощность аккумулятора в режиме разряда, Вт;

τ - длительность режима разряда, с;

L- скрытая теплота плавления, Дж/кг;

η_Σ - энергетический коэффициент полезного действия ТА.

Функционально работа ТА подразделяется на периоды заряда, хранения накопленной энергии и разряда. С точки зрения использования массы более эффективной будет конструкция, обеспечивающая максимальное задействование ТАВ в каждом периоде.

Суммарный энергетический КПД η_Σ равен отношению отводимой энергии Q_o (Дж) при разряде к подводимой энергии при заряде Q_p, (Дж):

$$\eta_\Sigma = \frac{Q_o}{Q_p}. \qquad (2)$$

Он же равен произведению энергетических КПД периода заряда η_1, хранения накопленной энергии η_2 и разряда η_3 :

$$\eta_\Sigma = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 . \qquad (3)$$

В свою очередь выразим каждый коэффициент через энергию:

$$\eta_1 = \frac{Q_{H1}}{Q_p}, \qquad (4)$$

$$\eta_2 = \frac{Q_{H2}}{Q_{H1}}, \qquad (5)$$

$$\eta_3 = \frac{Q_o}{Q_{H2}}, \qquad (6)$$

где

Q_{H1} - накопленная энергия при заряде, Дж;

Q_{H2} - количество энергии в ТА после периода хранения, Дж.

Так как $N_o \cdot \tau = Q_o$, то перепишем (1):

$$M = \frac{Q_o}{L \cdot \eta_\Sigma}. \qquad (7)$$

Учитывая (2), преобразуем (7):

$$M = \frac{Q_p}{L}. \qquad (8)$$

---

[1] *Автор - ведущий инженер кафедры технологии металлов и ремонта*

© М.И.Куколев, 1996

На основании (4) преобразуем (8):

$$M = \frac{Q_{H1}}{L \cdot \eta_1}, \quad (9)$$

и, с учетом (5),

$$M = \frac{Q_{H2}}{L \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}. \quad (10)$$

Эксергия (т.е. максимальная работоспособность) тепла определяется по формуле [7]:

$$E = Q \cdot \frac{T - T_c}{T},$$

где
E - подводимая (отводимая) эксергия, Дж;
Q - подводимая (отводимая) энергия, Дж;
T - температура тела, к которому тепло подводится (отводится), K;
T_C - температура окружающей среды, K.

Тогда подводимая эксергия при заряде :

$$E_p = Q_p \cdot \left(1 - \frac{T_c}{T_p}\right), \quad (11)$$

где
T_P - температура теплоподвода в ТА (K).

Накопленная эксергия при заряде :

$$E_{H1} = Q_{H1} \cdot \left(1 - \frac{T_c}{T_m}\right), \quad (12)$$

где
T_m - температура плавления ТАВ (K).

Эксергия после периода хранения энергии :

$$E_{H2} = Q_{H2} \cdot \left(1 - \frac{T_c}{T_m}\right). \quad (13)$$

Отводимая из ТА эксергия при разряде:

$$E_o = Q_o \cdot \left(1 - \frac{T_c}{T_o}\right), \quad (14)$$

где
T_O - температура теплоотвода из ТА (K).

Количество ТАВ, которое может быть задействовано при данных условиях теплоподвода M_P :

$$M_p = \frac{E_p}{L}. \quad (15)$$

Количество ТАВ, обеспечивающее накопление эксергии при заряде M_{H1} :

$$M_{H1} = \frac{E_{H1}}{L}, \quad (16)$$

и содержащее накопленную эксергию после периода хранения M_{H2} :

$$M_{H2} = \frac{E_{H2}}{L}. \quad (17)$$

Выделение эксергии при разряде обеспечивает M_P:

$$M_o = \frac{E_o}{L}. \quad (18)$$

Для сравнительного анализа проектируемых или существующих конструкций ТА введем коэффициенты использования массы :

$$\mu_p = \frac{M_p}{M},$$

$$\mu_{H1} = \frac{M_{H1}}{M},$$

$$\mu_{H2} = \frac{M_{H2}}{M},$$

$$\mu_o = \frac{M_o}{M},$$

Из (15), (8) и (11) получаем μ_p :

$$\mu_p = \left(1 - \frac{T_c}{T_p}\right);$$

учитывая (16), (9) и (12), определим μ_{H1} :

$$\mu_{H1} = \eta_1 \cdot \left(1 - \frac{T_c}{T_m}\right).$$

В свою очередь, из (17), (10) и (13) получаем μ_{H2} :

$$\mu_{H2} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \left(1 - \frac{T_c}{T_m}\right),$$

а (18), (7) и (14) дают :

$$\mu_o = \eta_\Sigma \cdot \left(1 - \frac{T_c}{T_o}\right).$$

Чем выше каждый коэффициент, тем эффективнее используется масса ТА.

Суммарный эксергетический КПД ТА ψ_Σ равен отношению E_o / E_p. Так как $E_o / E_p = M_o / M_p = \mu_o / \mu_p$ следовательно :

$$\psi_\Sigma = \eta_\Sigma \cdot \frac{\left(1 - \frac{T_c}{T_o}\right)}{\left(1 - \frac{T_c}{T_p}\right)}.$$

В свою очередь, $\psi_\Sigma = \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3$, где

$$\psi_1 = \frac{E_{H1}}{E_p} = \frac{M_{H1}}{M_p} = \eta_1 \cdot \frac{\left(1 - \frac{T_c}{T_m}\right)}{\left(1 - \frac{T_c}{T_p}\right)},$$

$$\psi_2 = \frac{E_{H2}}{E_{H1}} = \frac{M_{H2}}{M_{H1}} = \frac{\mu_{H2}}{\mu_{H1}} = \eta_2,$$

$$\psi_3 = \frac{E_o}{E_{H2}} = \frac{M_o}{M_{H2}} = \frac{\mu_o}{\mu_{H2}} \cdots$$

$$\cdots = \eta_2 \cdot \frac{\left(1 - \frac{T_c}{T_o}\right)}{\left(1 - \frac{T_c}{T_m}\right)}.$$

Рассмотрим на примере, как меняются показатели эффективности использования массы в зависимости от условий эксплуатации ТА.

ПРИМЕР

Пусть два ТА одинаковой конструкции и массы заряжаются от постороннего источника энергии и должны обеспечить на протяжении 30 минут тепловую мощность 10 кВт при суммарном энергетическом коэффициенте полезного действия $\eta_\Sigma = 0{,}75$ ($\eta_1 = 0{,}95$; $\eta_2 = 0{,}8$; $\eta_3 = 0{,}99$). Скрытая теплота плавления ТАВ L = 280 кДж/кг, температура плавления $T_m = 78°C$. Температура окружающей среды $T_c = -20°C$. В первом случае температура подвода энергии $T_{p1} = 90°C$, температура отвода при разряде $T_{o1} = 30°C$. Во втором случае соответственно $T_{p2} = 85°C$ и $T_{o2} = 25°C$. Требуется определить: какой аккумулятор работает эффективнее?

Определяя требуемую массу ТАВ по (1), получим :

$$M1 = M2 = 85{,}7 \text{ [кг]}.$$

На первый взгляд оба, ТА равноценны. Перейдем к рассчету коэффициентов использования массы с помощью эксергетического метода:

$\mu_{p1} = 0{,}303$ $\quad$ $\mu_{p2} = 0{,}293$

$\mu_{H11} = 0{,}265$ $\quad$ $\mu_{H12} = 0{,}265$

$\mu_{H21} = 0{,}212$ $\quad$ $\mu_{H22} = 0{,}212$

$\mu_{o1} = 0{,}124$ $\quad$ $\mu_{o2} = 0{,}113$

Определяем эксергетические КПД:

$\psi_{\Sigma 1} = 0{,}409$ $\quad$ $\psi_{\Sigma 2} = 0{,}386$

$\psi_{11} = 0{,}875$ $\quad$ $\psi_{12} = 0{,}904$

$\psi_{21} = \psi_{22} = 0{,}8$

$\psi_{31} = 0{,}585$ $\quad$ $\psi_{32} = 0{,}533$

Проведенный расчет показывает, что с точки зрения полезного использования массы первый ТА работает эффективнее в период разряда ($\mu_{o1} > \mu_{o2}$, $\psi_{31} > \psi_{32}$). Этот же аккумулятор более эффективен по потенциальным возможностям ($\mu_{p1} > \mu_{p2}$). В то же время, несмотря на худший показатель суммарного эксергетического КПД ($\psi_{\Sigma 2} < \psi_{\Sigma 1}$), в период заряда второй ТА работает лучше ($\psi_{11} < \psi_{12}$). Следовательно, для первого ТА необходимо улучшать условия при заряде (что не столь существенно для транспортной техники), для второго же ТА необходимо проводить мероприятия по улучшению как теплоподвода, так и условий разряда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение эксергетического анализа при проектировании ТА позволяет выявить направления конструктивного совершенствования устройств при реальных условиях функционирования путем оценки эффективности использования массы ТАВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривов В.Г., Гулин С.Д., Глухенко Н.В., Сорокин А.А., Стоянов В.У. Проблема запуска двигателей строительных и дорожных машин в условиях низких температур и перспективы ее решения // Двигателестроение. 1991. N4. С.55-56,58,60.

2. Куколев М.И., Нестерова И.Л. Возможность применения аккумуляторов тепловой энергии в лесозаготовительной технике // Проблемы механизации лесной промышленности и лесного хозяйства Карелии : Тезисы докладов республиканской науч.практ. конф.- Петрозаводск : КарНИИЛП. 1995. С.46-47.

3. Schatz D. Latentwärmespeicher für Kaltstartverbesserung von Kraftfahrzeugen // Brennst.-Warme-Kraft. 1991., N6. S.333-337,340.

4. Umweltschutz dank Wärmespeicher // Automob. Rev..- 1991., N37. S.43.

5. Woschni G., Stein M., Spindler W. Nutzung gespeicherter Wärme in der Start und Warmlaufphase bei Fahrzeugmotoren // MTZ:Motortechn. Z.. 1995. N6. S.364-369.

6. Rosen M., Hooper F., Barbaris L. Exergy Analysis for the Evaluation of the Performance of Closed Thermal Energy Storage Systems // J. of Solar Energy Engineering. 1988. Nov. V.110. P.255-262.

7. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. М.: Энергия, 1979. 285 с.