

УДК 621.43+621.43.016.4-57+536.421+541.6:541.183

*ГРИЦУК І.В., доцент,
Донецький інститут залізничного транспорту УкрДАЗТ*

ФОРМУВАННЯ ВИМОГ І ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ У СКЛАДІ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ КОМБІНОВАНОГО ПРОГРІВУ ДВИГУНА І ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

У статті описано особливості формування вимог і показників ефективності теплових акумуляторів фазового переходу у складі комплексної системи комбінованого прогріву двигуна і транспортного засобу

Ключові слова: ефективність, показник, тепловий акумулятор, система, прогрів, транспортний засіб, двигун

Постановка проблеми

Одним з перспективних напрямів удосконалення систем охолодження транспортних засобів є впровадження сучасних технологій в їх конструкцію з метою збільшення продуктивності, адаптації до умов експлуатації тощо. Ці заходи включають в себе різні методи аналізу, конструювання, експериментальні дослідження як на системному рівні, так і на рівні компонентів. Особливо актуальні запропоновані методи для тих режимів транспортних двигунів, коли потрібні значні кошти для здійснення їх теплової підготовки в холодних умови експлуатації, а саме такі, як передпусковий і післяпусковий прогрів двигуна, зберігання прогрітого двигуна транспортного засобу для здійснення успішного пуску в холодних умовах експлуатації. При цьому вирішальними факторами, крім зручності експлуатації, є низька вартість пристроїв для здійснення теплової підготовки двигунів, державне законодавство і стандарти, необхідність отримання повної потужності відразу ж після пуску транспортного двигуна, поліпшення паливної економічності і зниження викидів в процесі передпускової і післяпускової теплової підготовки. Обмежуючими факторами в таких роботах є масо-габаритні характеристики пристроїв і компактне їх розміщення в конструкції сучасних транспортних засобів (ТЗ). У зв'язку з цим найбільш актуальним стає розробка і формування комплексних систем для вирішення зазначених проблем в конструкції як самого двигуна, так і транспортного засобу. Одним з перспективних напрямків в цьому випадку буде розробка і дослідження комплексної системи комбінованого прогріву (КСКП) транспортного двигуна з тепловими акумуляторами (ТА) фазового переходу для забезпечення оптимального температурного стану (ОТС) в процесах передпускового і післяпускового прогріву в холодних умовах експлуатації.

Мета статті

Метою представленої роботи є аналіз і формування вимог та показників ефективності теплових акумуляторів фазового переходу, які дозволяють виконувати оцінку показників всієї комплексної системи комбінованого прогріву двигуна і транспортного засобу, у складі якої вони працюють.

Основний розділ

При проектуванні та експлуатації ТА фазового переходу, які використовуються за енергетичним призначенням і на транспорті, виникає потреба у формуванні системи показників для оцінювання їх конструктивних особливостей та їх ефективності. Розроблена система показників дозволяє не тільки порівнювати різні за конструкцією і призначенням ТА фазового переходу,

визначати їх показники ефективності, але й систематизувати їх за одними або декількома класифікаційними ознаками.

Аналіз літературних джерел [1–7] показує, що існує безліч різних кількісних і якісних показників для оцінювання. Вони характеризують ті або інші відмінні конструктивні особливості та особливості функціонування ТА фазового переходу, тощо. Ці показники являють собою часто вживані характеристичні параметри і фізичні величини. У зв'язку з цим представляється доцільним розділити оціночні показники на групи і надалі представляти їх стосовно до кожної конкретної групи показників [1, 4, 5, 12, 13]. Це наступні вісім груп показників: а) часові (термінові) або температурно-часові показники; б) енергетичні показники; в) ексергетичні показники; г) ексергоекономічні показники; д) масогабаритні показники; ж) показники, визначені за структурою складних схем; з) показники, визначені за режимом навантаження; і) показники надійності.

Таблиця 1

Показники ефективності теплових акумуляторів фазового переходу

№ п/п	Показники	Представлення у вигляді	
		реальних (розмірних) значень	відносних (безрозмірних) значень
1	2	3	4
1	Часові (термінові) або температурно-часові	$\tau_{зар}, \tau_{збер}, \tau_{роз}, \tau_{ц},$ $t_{зар,i}, \tau_{зар,i}, t_{збер,i}, \tau_{збер,i}, t_{роз,i}, \tau_{роз,i}$	$\bar{\tau}_{зар}, \bar{\tau}_{збер}, \bar{\tau}_{роз}$
2	Енергетичні	Інтегральні: $Q_{зар}, Q_{збер}, Q_{роз}, Q_{АКК}$ Питомі: $q_{АКК}$ Потужностей: $P_{зар}, P_{збер}, P_{роз},$ $P_{зар}^{сер}, P_{збер}^{сер}, P_{роз}^{сер}, P_{роз}^{нік}$	$\eta_{\Sigma}, \eta_{зар}, \eta_{збер}, \eta_{роз}$
3	Ексергетичні	$\Xi_{нід}, \Xi_{зар}, \Xi_{збер}, \Xi_{роз}$	$\Psi_{\Sigma}, \Psi_{зар}, \Psi_{збер}, \Psi_{роз}$
4	Ексергоекономічні	$E_{D,k}, c_{F,k}, c_{P,k}, C_{D,k}, Z_k, c_{F,k,x},$ $c_{F,k}^X, c_{P,k,x}, c_{P,k}$	$\varepsilon_k, \varepsilon_k^{OPT}, f_k$
5	Масогабаритні	$m_{ТА}, m'_{ТА}, G, V_{ТА}, l_{ТА} \times \delta_{ТА} \times h_{ТА}$	$\Omega_{ТА}$
6	Визначені за структурою складних схем	Z_{Σ}, C_{Σ}	–
7	Визначені за режимом навантаження	$N_i^{спож}, N_i^{ген},$ $Q_i^{спож}, Q_i^{ут}, Q_i^{спож}$	–
8	Надійності	–	$K_{ечаст}, \bar{K}_{част}, K_{част},$ $K_{нз}, K_z, K_{тв}$

Вибрані групи показників (див. табл. 1) відображають найбільш загальні і суттєві для всіх ТА фазового переходу функціональні характеристики [1, 4, 5]. Детальний аналіз показників ефективності ТА фазового переходу на основі праць вчених було систематизовано автором в роботі [4]. Також в роботі наведено механізм, пояснення і особливості застосування вказаних показників. Виходячи з особливостей вирішення проблеми забезпечення ОТС двигуна і ТЗ на основі застосування ТА фазового переходу в умовах експлуатації, зупинимось на розгляді тільки тих з них, які плануються для використання в проведеній роботі для оцінки ефективності саме ТА фазового переходу. Оцінку ефективності роботи системи забезпечення ОТС двигуна і ТЗ

в цілому вважаємо доцільним проводити за результатами попередньо отриманих результатів оцінки ефективності її складових, що виконані для ТА фазового переходу.

Часові (термінові) або температурно-часові показники характеризують функціонування ТА фазового переходу з точки зору тривалості і температурних параметрів окремих процесів. Часові (термінові) або температурно-часові показники при проведенні оцінки ТА фазового переходу можуть представлятися в реальних (розмірних) значеннях (величини реального часу, температури) і у відносних (безрозмірних) значеннях (безрозмірних величинах).

До часових (термінових) відносяться наступні показники [1, 5]:

– тривалість (час, інтервал часу) зарядки ТА фазового переходу $\tau_{зар}$ – проміжок часу, протягом якого ТА фазового переходу накопичує теплову енергію від якого-небудь теплоносія чи джерела;

– тривалість (час, інтервал часу) зберігання теплової енергії $\tau_{збер}$ – проміжок часу, протягом якого здійснюється теплообмін накопичувача теплової енергії ТА фазового переходу тільки з навколишнім середовищем;

– тривалість (час, інтервал часу) розрядки ТА фазового переходу $\tau_{роз}$ – проміжок часу, протягом якого ТА фазового переходу віддасть раніше накопичену теплову енергію якомусь теплоносію.

Тривалість (час) одного циклу функціонування ТА фазового переходу $\tau_{ц}$ являє собою суму вищеназваних показників [1, 5]:

$$\tau_{ц} = \tau_{зар} + \tau_{збер} + \tau_{роз} \quad (1)$$

До температурно-часових відносяться наступні показники:

– характерні температури $t_{зар,i}$ і інтервал часу $\tau_{зар,i}$ за який досягається відповідна характерна температура в процесі зарядки ТА фазового переходу – проміжок часу, протягом якого ТА фазового переходу накопичує теплову енергію від якого-небудь теплоносія чи джерела і досягає характерної температури;

– характерні температури $t_{збер,i}$ і інтервал часу $\tau_{збер,i}$ зберігання теплової енергії – проміжок часу, протягом якого здійснюється теплообмін накопичувача теплової енергії ТА фазового переходу тільки з навколишнім середовищем і досягає характерної температури;

– характерні температури $t_{роз,i}$ і інтервал часу $\tau_{роз,i}$ за який досягається відповідна характерна температура в процесі розрядки ТА фазового переходу – проміжок часу, протягом якого ТА фазового переходу віддасть раніше накопичену теплову енергію якомусь теплоносію і досягне характерної температури.

Крім цього можуть використовуватись і безрозмірні показники [14, 15]. Особливість застосування безрозмірних величин полягає в наступному: їх використання бажано в тих випадках, коли проводиться оцінка показників роботи ТА фазового переходу без урахування його зв'язків із споживачем і постачальником теплової енергії, а досліджуються тільки безпосередньо фазо-перехідні процеси в теплоакumuлюючих матеріалах.

Енергетичні показники характеризують функціонування ТА фазового переходу з точки зору його енергетичної досконалості в циклі роботи ТА, а саме в процесах зарядки, зберігання теплової енергії та розрядки. Прийнято розрізняти *інтегральні параметри* і *параметри потужності* [1, 5]. *Інтегральні показники* оцінюють кількість теплової енергії в процесі повного циклу роботи ТА фазового переходу або в процесах зарядки, зберігання теплової енергії та розрядки. *Показники потужності* ТА фазового переходу використовують для характеристики інтенсив-

ності зазначених процесів у часі, оскільки процеси накопичення, зберігання і віддачі накопиченої теплової енергії мають нестационарний характер.

До інтегральних енергетичних показників відносяться такі величини [1, 5]: кількість теплової енергії, яку акумулює ТА фазового переходу в процесі зарядки $Q_{зар}$; теплові втрати в процесі зберігання теплової енергії $Q_{збер}$; кількість теплової енергії, яку віддає ТА фазового переходу в процесі розрядки $Q_{роз}$.

За умовою, що в процесі зарядки ТА фазового переходу його ТАМ з початковою температурою T_1 нагрівається в твердій фазі до температури фазового переходу T_{ϕ} , плавиться при цій же температурі і далі нагрівається в рідкій фазі до деякої температури T_2 , при якій настає тепла рівновага між ним і утилізованим теплоносієм, величина $Q_{зар}$ дорівнюватиме величині $Q_{АКК}$. Кількість акумульованої теплової енергії $Q_{АКК}$ в процесі фазового перетворення теплоакumuлюючого матеріалу плавлення-кристалізація визначається рівнянням (2) в табл. 2 [1, 5].

Слід зазначити, що в науково-технічній літературі широко використовується термін «теплова ємність ТА фазового переходу» [1, 5]. По суті, він ідентичний введеним вище показникам і являє собою або кількість теплоти, яку акумулює ТА фазового переходу в процесі зарядки $Q_{зар}$, або кількість теплової енергії, яку він віддає споживачеві в процесі розрядки $Q_{роз}$.

Крім інтегральних значень $Q_{роз}$, $Q_{збер}$, $Q_{зар}$, що характеризують функціонування конкретного ТА фазового переходу у відповідних умовах, доцільно використання *питомих енергетичних показників*, які одержуються шляхом ділення *інтегральних показників* на масу ТАМ m_T або його об'єм V_T . Так, важливе практичне значення має введена раніше для характеристики ТАМ щільність акумулювання теплової енергії $q_{АКК}$, що є одночасно показником не тільки ТАМ, але і ТА фазового переходу і розраховується за формулою (3) в табл. 2 [1, 5].

Оскільки процеси накопичення, зберігання і віддачі накопиченої теплової енергії мають нестационарний характер, то для характеристики інтенсивності цих процесів у часі доцільно прийняти *показники потужності* ТА фазового переходу [1, 5], що показані в табл. 2. Теплові потужності, що розраховуються за формулами (4) – (6), являють собою миттєві величини, що змінюються в часі. Практичне значення, як правило, мають середні теплові потужності ТА фазового переходу [1, 5], що показані в табл. 2. Енергетичні показники ТА фазового переходу можуть бути представлені у вигляді безрозмірних величин – енергетичних ККД, що характеризують ступінь енергетичної досконалості здійснення процесів накопичення, зберігання і віддачі накопиченої теплової енергії [1, 5, 7, 10], що показані в табл. 2. Залежність між введеними вище енергетичними ККД, у вигляді сумарного енергетичного ККД ТА фазового переходу, виражається формулою (15) [1, 5], в табл. 2.

Таблиця 2

Основні енергетичні показники ефективності теплових акумуляторів фазового переходу

№ п/п	Назва енергетичного показника ефективності ТА фазового переходу	Вираз енергетичного показника ефективності теплового акумулятора фазового переходу
1	Кількість акумульованої теплової енергії $Q_{АКК}$ в процесі фазового перетворення теплоакumuлюючого матеріалу плавлення-кристалізація	$Q_{АКК} = m_T \cdot \int_{T_1}^{T_{\phi}} C_{TB}(T) dT + m_T \cdot r_T + m_T \cdot \int_{T_{\phi}}^{T_2} C_p(T) dT = Q_{зар} \quad (2)$
2	Щільність акумулювання теплової енергії $q_{АКК}$, що є одночасно показником не тільки ТАМ, але і ТА фазового переходу	$q_{АКК} = \rho_{ТВ} \cdot \int_{T_1}^{T_{\phi}} C_{TB}(T) dT + \rho_p \cdot r_T + \rho_T \cdot \int_{T_{\phi}}^{T_2} C_p(T) dT \quad (3)$

№ п/п	Назва енергетичного показника ефективності ТА фазового переходу	Вираз енергетичного показника ефективності теплового акумулятора фазового переходу	
3	Теплова потужність ТА фазового переходу в процесі зарядки $P_{зар}$	$P_{зар} = \frac{dQ_{зар}(\tau)}{d\tau}$	(4)
4	Теплова потужність в процесі зберігання теплоти (потужність теплових втрат) $P_{збер}$	$P_{збер} = \frac{dQ_{збер}(\tau)}{d\tau}$	(5)
5	Теплова потужність ТА фазового переходу в процесі розрядки $P_{роз}$	$P_{роз} = \frac{dQ_{роз}(\tau)}{d\tau}$	(6)
6	Середні теплові потужності ТА фазового переходу в процесі зарядки $P_{зар}^{сеп}$	$P_{зар}^{сеп} = \frac{Q_{зар}}{\tau_{зар}}$	(7)
7	Середні теплові потужності ТА фазового переходу в процесі зберігання теплової потужності (потужність теплових втрат) $P_{збер}^{сеп}$	$P_{збер}^{сеп} = \frac{Q_{збер}}{\tau_{збер}}$	(8)
8	Середні теплові потужності ТА фазового переходу в процесі розрядки $P_{роз}^{сеп}$	$P_{роз}^{сеп} = \frac{Q_{роз}}{\tau_{роз}}$	(9)
9	Пікова теплова потужність в процесі розрядки ТА фазового переходу $P_{роз}^{нік}$	$P_{роз}^{нік} = \left(\frac{dQ_{роз}}{d\tau_{роз}} \right)_{max}$	(10)
10	Сумарний енергетичний ККД ТА фазового переходу η_{Σ}	$\eta_{\Sigma} = \frac{Q_{роз}}{Q_{нід}}$	(11)
11	Енергетичний ККД процесу зарядки ТА фазового переходу $\eta_{зар}$	$\eta_{зар} = \frac{Q_{зар}}{Q_{нід}}$	(12)
12	Енергетичний ККД процесу зберігання теплової енергії $\eta_{збер}$ (доля енергії, що залишилась в ТА)	$\eta_{збер} = \frac{Q_{зал}}{Q_{зар}}$	(13)
13	Енергетичний ККД процесу розрядки ТА фазового переходу $\eta_{роз}$	$\eta_{роз} = \frac{Q_{роз}}{Q_{зал}}$	(14)
14	Сумарний енергетичний ККД ТА фазового переходу	$\eta_{\Sigma} = \prod_{i=1}^{i=3} \eta_i = \eta_{зар} \cdot \eta_{збер} \cdot \eta_{роз}$	(15)

де m_T – маса ТАМ, що зазнає фазовий перехід плавлення-кристалізація, кг;

$C_{ТВ}(T)$, $C_p(T)$ – питомі масові теплоємності ТАМ залежно від його температури, відповідно в твердій і рідкій фазах, Дж/(кг·К);

r_T – питома теплова енергія фазового переходу плавлення-кристалізація, Дж / кг;

T , T_2 , T_{ϕ} – температури ТАМ, відповідно початкова, кінцева і фазового переходу, К;

$q_{АКК}$ – щільність акумулявання теплової енергії, кДж/м³;

$\rho_{тв}$, ρ_p – щільність ТАМ, відповідно в твердій і рідкій фазах, кг/м³;

r_T – питома теплова енергія фазового переходу плавлення-кристалізація, кДж/кг;
 $c_{тв}(T), c_p(T)$ – питомі масові теплоємності ТАМ в залежності від його температури, відповідно в твердій і рідкій фазах, кДж/(кг·К);
 T_1, T_2 – температури ТАМ, відповідно початкова і кінцева, К;
 Q_{nid} – енергія, що підводиться при зарядці ТА фазового переходу, кДж;
 $Q_{зал}$ – кількість залишкової теплової енергії в ТА фазового переходу після періоду зберігання, кДж

Ексергетичні показники характеризують функціонування ТА фазового переходу з точки зору збереження здатності теплової енергії здійснювати корисну роботу в процесі повного циклу робота ТА фазового переходу, а саме: в процесах зарядки, зберігання і розрядки [1, 5]. З термодинаміки відомо, що теплову енергію можливо розділити на дві частини: доступну і недоступну для перетворення в корисну роботу. Ексергія визначається як частина енергії, яка піддається перетворенню в корисну роботу за допомогою ідеальної машини, що відводить теплову енергію при температурі навколишнього середовища [1, 5, 7]. Таким чином, ексергетичні показники, які застосовуються лише тих у випадках, коли ТА фазового переходу, будучи елементом термодинамічної системи, використовуються для перетворення теплової енергії в роботу.

Теорія ексергетичного аналізу розглянутих процесів теплового акумулювання в фазоперехідних матеріалах розроблена в роботах М.А. Rosen [11, 16–18], F.C. Hooper і L.N. Barbaris (Канада) [11], A. Vejan [19], M.De Lucia (США) [20], М.І. Куколева (ПетрГУ) [7, 10], В.В. Шульгіна [1, 5] та інших. Необхідність проведення ексергетичного аналізу продиктована тим, що чисто енергетичний підхід не дозволяє врахувати ряд аспектів, пов'язаних з необоротністю процесів, що реально протікають [21, 1, 5]. До *інтегральних* ексергетичних показників відносяться величини ((16) – (19)) [21, 23, 1, 5], що наведені в табл. 3. Ексергетичні показники, як і енергетичні, можуть бути представлені у вигляді безрозмірних величин – ексергетичних ККД ((20) – (23)), що характеризують ступінь ексергетичної досконалості процесів накопичення, зберігання і віддачі накопиченої теплової енергії [7, 21, 22, 1, 5]. Залежність між введеними енергетичними та ексергетичними ККД виражається формулою (24) [1, 5].

Таблиця 3

Основні ексергетичні показники ефективності теплових акумуляторів фазового переходу

№ п/п	Назва ексергетичного показника ефективності ТА фазового переходу	Вираз ексергетичного показника ефективності теплового акумулятора фазового переходу
1	Кількість ексергії, підведеної до ТА фазового переходу в процесі зарядки E_{nid}	$E_{nid} = Q_{nid} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{nid}}\right)$, (16)
2	Кількість ексергії, яку акумулює ТА фазового переходу в процесі зарядки $E_{зар}$	$E_{зар} = Q_{зар} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{\phi}}\right)$; (17)
3	Кількість ексергії після періоду зберігання енергії $E_{збер}$	$E_{збер} = Q_{зал} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{\phi}}\right)$; (18)
4	Кількість ексергії, що відводиться з ТА фазового переходу в процесі розрядки $E_{роз}$	$E_{роз} = Q_{роз} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{відв}}\right)$ (19)

№ п/п	Назва ексергетичного показника ефективності ТА фазового переходу	Вираз ексергетичного показника ефективності теплового акумулятора фазового переходу
5	Сумарний ексергетичний ККД ТА фазового переходу Ψ_{Σ}	$\Psi_{\Sigma} = \frac{\Xi_{роз}}{\Xi_{нід}} = \eta_{\Sigma} \cdot \frac{1 - \frac{T_0}{T_{відв}}}{1 - \frac{T_0}{T_{нід}}};$ (20)
6	Ексергетичний ККД процесу зарядки ТА фазового переходу $\Psi_{зар}$	$\Psi_{зар} = \frac{\Xi_{зар}}{\Xi_{нід}} = \eta_{зар} \cdot \frac{1 - \frac{T_0}{T_{\phi}}}{1 - \frac{T_0}{T_{нід}}};$ (21)
7	Ексергетичний ККД процесу зберігання теплової енергії в ТА $\Psi_{збер}$	$\Psi_{збер} = \frac{\Xi_{збер}}{\Xi_{зар}} = \frac{Q_{зал}}{Q_{зар}} = \eta_{збер}$ (22)
8	Ексергетичний ККД процесу розрядки ТА фазового переходу $\Psi_{роз}$	$\Psi_{роз} = \frac{\Xi_{роз}}{\Xi_{збер}} = \eta_{роз} \cdot \frac{1 - \frac{T_0}{T_{відв}}}{1 - \frac{T_0}{T_{\phi}}}$ (23)
9	Залежність між енергетичними та ексергетичними ККД	$\Psi_{\Sigma} = \prod_{j=1}^{j=3} \Psi_j = \Psi_{зар} \cdot \Psi_{збер} \cdot \Psi_{роз} = \eta_{\Sigma} \cdot \frac{1 - \frac{T_0}{T_{відв}}}{1 - \frac{T_0}{T_{нід}}}$ (24)

де $T_{нід}$ – температура підводу в ТА фазового переходу теплової енергії, К;
 $T_{відв}$ – температура тепловідведення з ТА фазового переходу, К.

Підсумки

Для оцінювання ефективності роботи системи забезпечення оптимального температурного стану двигуна і транспортного засобу на основі комплексної системи комбінованого прогріву проведено аналіз вимог і показників ефективності теплових акумуляторів фазового переходу та запропоновано проводити оцінку його ефективності в цілому за результатами попередньо отриманих результатів оцінки ефективності її складових, що виконані для ТА фазового переходу.

Список літератури

1. Шульгин В.В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств / В.В. Шульгин / СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2005. – 268 с.
2. Александров В.Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных жидкостей и аморфных сред. – Донецк: Донбасс, 2011. – 580с.
3. Александров В.Д. Теплоаккумулирующие материалы на основе кристаллогидратов / В.Д. Александров, О.В. Соболев, С.А. Фролова, И.В. Сельская, А.Ю. Соболев, С.Г. Бугасова, Н.В. Щebetовская, Д.П. Лойко, В.Н. Ардатов, О.Е. Сильченко, М.В. Стасевич // Вісник ДонНАБА. – 2009. – 1 (75). – С. 100-103.
4. Александров В.Д. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів / В.Д. Александров, Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, Ю.В. Прилепський, В.А. Постніков, А.М. Гуцин, Д.С. Адров, В.С. Вербовський, З.І. Краснокутська. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 2014. – 230 с.
5. Шульгин В.В. Теория и практика применения в автотранспортных средствах тепловых аккумуляторов фазового перехода: Дис. ... д-ра техн. наук 05. 22. 10. – М.: РГБ, 2004. – 503 с.

6. Бурак В.С. Тепловой аккумулятор на фазовом переходе для автомобильного транспорта: Автореф.... канд. техн. наук / ИТМО. – Беларусь, Минск, 2001. – 22 с.
7. Куколев М.И. Основы проектирования тепловых накопителей энергии: Монография / Петрозавод. гос. ун-т. – Петрозаводск, 2001. – 240 с.
8. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. – М.: Мир. – 1987. – 256 с.
9. Богословский В.Н., Манасыпов Р.Р. Эффективность теплообменников-аккумуляторов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1992. – № 2. – С. 10-12
10. Куколев М.И. Оценка эффективности использования массы теплового аккумулятора // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. – Вып. 1 / Петрозавод. гос. ун-т. – Петрозаводск, 1996. – С. 40-42.
11. Rosen M., Hooper F., Barbaris L. Эксергетический анализ замкнутых теплоаккумулирующих систем // Современное машиностроение. Серия А. – 1989. – № 7. – С. 123-131.
12. Баласаян Г.А. Ефективність перспективних інтегрованих систем енергозабезпечення на базі установок когенерації малої потужності (теоретичні основи, аналіз, оптимізація): Дис. ... д-ра техн. наук 05.14.06. – Одеса, 2007. – 356 с.
13. Баласаян Г.А. Оценка эффективности интегрированных когенерационных систем // Эко-технологии и ресурсосбережение. – 2006. – № 3. – с. 9-12.
14. Карташевич А.Н. Улучшение пусковых качеств автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации: Монография / А.Н. Карташевич, Г.М. Кухаренок, А.В. Гордеенко, Д.С. Разинкевич: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – Мн.: Изд. ООО «Красико-Принт», 2005. – 180 с.
15. Hansen P., Wolfe B. Remote Diagnostics – the Next OEM Frontier // The Hansen Report on Automotive Electronics. – Dec. 2003/Jan. 2004. – Vol. 16, № 10. – P. 1-3.
16. Rosen M.A. Thermodynamic investigation and comparison of selected production process for hydrogen and hydrogen-derived fuels // Energy. – 1996. – v. 21, № 12. – p. 1079-1094.
17. Marc A. Rosen Indicators for environmental impact of waste emissions: comparison of exergy and other indicators. Trans. Can. Soc. Mech. Eng. Vol. 33, No. 1, 2009.
18. Rosen M. Exergy Analysis for the Evaluation of the Performance of Closed Thermal Energy Storage Systems / M. Rosen, F. Hooper, L. Barbaris // Journal of Solar Energy Engineering. 1988. – Nov. V. 110. – P. 255-262.
19. Bejan A. Entropy generation through heat and fluid flow / A. Bejan. – New York: John Wiley & Sons, 1994. – 248 p.
20. Де Лусия, Бежан. Термодинамика процесса аккумулирования энергии при плавлении в режиме теплопроводности или естественной конвекции // Современное машиностроение. Серия Л. – 1990.11. – С. 111-117.
21. Эксергетический метод и его приложения // под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1967. – 248 с.
22. Энергия и эксергия // под. ред В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1968. – 189 с.

Грицук И.В. Формирование требований и показателей эффективности тепловых аккумуляторов фазового перехода в составе комплексной системы комбинированного прогрева двигателя и транспортного средства

Аннотация. В статье описаны особенности формирования требований и показателей эффективности тепловых аккумуляторов фазового перехода в составе комплексной системы комбинированного прогрева двигателя и транспортного средства

Ключевые слова: эффективность, показатель, тепловой аккумулятор, система, прогрев, транспортное средство, двигатель



Gritsuk I.V. Formation of requirements and battery performance thermal phase transition in the complex system of the engine of the combined heating and vehicle

Annotation. This article describes the features of formation of requirements and battery performance thermal phase transition in the complex system of the engine of the combined heating and vehicle.

Keywords: efficiency, index, heat storage, system, warming up, vehicle, engine

Стаття надійшла до редакції 17.11.2014 р.