

Кузьменко С.В., Марченко Д.М., Заверкін А.В., Ларченко М.І.

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОАКУМУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ НА ПАСАЖИРСЬКОМУ РУХОМОМУ СКЛАДІ ЗАЛІЗНИЦЬ

*У статті проведено аналіз вимог щодо параметрів мікроклімату кабін та салонів пасажирського рухомого складу залізниць та конструкції системи опалення сучасних вагонів. Використання рідинних або електричних систем опалення в пасажирських вагонах має як переваги, так і недоліки для кожної системи і не може в повній мірі задовольнити вимоги щодо підтримання комфортних параметрів мікроклімату або безпеки при експлуатації. Зокрема було відмічено, що застосування електричних нагрівачів дозволяє використовувати енергію електродинамічного гальмування і може суттєво зменшити енергоспоживання системи опалення пасажирського рухомого складу. Застосування електродинамічного гальмування є обмеженим у часі руху поїзда та електрична енергія, яка виробляється, може перевищувати потрібну енергію системи опалення, тому конструкція даної системи повинна мати конструкційні елементи, що можуть накопичувати надлишкову енергію гальмування. В даному випадку найбільш ефективним варіантом є застосування теплоакуюючих матеріалів із можливістю використання фазових переходів першого роду. Аналіз теплофізичних властивостей різних матеріалів дозволив прийти до висновку, що у рамках поставленої задачі, таким теплоакуюючим матеріалом є цинк. Він дозволяє накопичити найбільшу кількість теплоти в одиниці об'єму з урахуванням його температури плавлення, щільності, теплоємності та теплоти плавлення (кристалізації) у порівнянні із різними кристалогідратами, свинцем, оловом та кадмієм. В статті проведено теоретичні дослідження щодо можливості узгодженої роботи теплоакуюючого модуля системи опалення із електродинамічним гальмом поїзда із оптимальними масо-габаритними показниками модуля. Це дозволяє на підставі статистичної інформації використання даного типу гальмування та кількості енергії, яка виробляється, визначити необхідну масу (об'єм) теплоакуюючого матеріалу для системи опалення пасажирського вагону, а також час, необхідний для заряджання та розряджання теплового акумулятора.*

**Ключові слова:** вагон, температура, огородження, електродинамічне гальмо, потужність, теплоакуюючий матеріал, теплота плавлення, щільність, теплоємність, маса.

**Актуальність дослідження.** Забезпечення комфортних параметрів мікроклімату пасажирського рухомого складу залізниць є невід'ємною складовою створення сучасних конструкцій залізничних вагонів за умови необхідності підтримки санітарно-гігієнічних вимог для організму людини. Крім цього, жорстка конкуренція на ринку пасажирських перевезень з боку автомобільного та повітряного транспорту передбачає створення параметрів мікроклімату в салоні залізничного вагону не гірших, ніж в інших видах пасажирського транспорту.

**Постановка проблеми.** Підтримка комфортної температури в салоні транспортного засобу з урахуванням мінімальної (максимальної) допустимої температури довкілля, максимальної швидкості руху і термічного опору кузова дозволяє визначити потужність системи кондиціонування. При цьому повинні дотримуватися вимоги до допустимого значення градієнта температури по висоті салону і швидкості руху повітряних мас, а максимальна температура захисних поверхонь теплообмінного устаткування, не повинна перевищувати 60 °С [1,2,3,4]. Крім того, конструкція теплообмінного устаткування не повинна істотно зменшувати корисний об'єм пасажирського салону, забезпечувати зручний доступ для технічного обслуговування, ремонту, тощо.

Вимогам, що пред'являються, якнайкраще відповідає водяна система опалювання пасажирських вагонів [5], яка використовує опосередковану передачу енергії від високотемпературних джерел (згорання твердого палива, поверхні електричних нагрівачів) до води і передачу теплоти від останньої до повітря за допомогою теплообмінних труб. Велика площа теплообмінної поверхні труб забезпечує ефективний теплообмін при відносно невисоких температурах теплоносія (до 80 °С), що не допускає перегрівання огороджувальних вище 60 °С. Разом з цим, розташування труб по усій довжині вагону забезпечує рівномірний розподіл температури повітря в салоні.

Гірші показники має система електричного обігріву салону на сучасних дизель- і електропоїздах. Концентрація джерела теплоти в невеликому об'ємі з нерозвиненою теплообмінною поверхнею приводить до істотного підвищення температури поверхні трубчастих або плоских електричних нагрівачів в діапазоні 250...500 °С [6]. Конвективний спосіб теплопередачі від поверхні нагрівача до повітря призводить до істотного перегрівання останнього, у тому числі і обгороджувальних нагрівачів, температура поверхні яких перевищує 100 °С. Крім цього, ця система обігріву не в змозі забезпечити допустимі значення температурного градієнта по висоті салону, а також істотно підвищує пожежну небезпечність.

Незважаючи на вказані недоліки, електрична система опалювання пасажирського рухомого складу має істотні переваги перед водяною в можливості гнучкішого регулювання температурного режиму, відсутності котла, що вимагає постійного контролю, і замерзаючих теплоносіїв. Застосування електричної системи опалювання салонів пасажирського рухомого складу має ще одну істотну гідність - можливість використання енергії електродинамічного гальмування, що дозволить істотно зменшити загальне енергоспоживання в холодний період.

З урахуванням того, що електродинамічне гальмування застосовується у невеликі проміжки часу руху поїзда та енергія гальмування, що виробляється, може бути суттєво більшою за необхідну системи опалення, остання повинна мати можливість споживання та накопичення енергії у періоди гальмування та її використання при руху поїзда у режимах тяги або вибігу. Вказані вимоги можна забезпечити використанням теплоакумулюючих матеріалів в елементах системи опалення, які використовують як властивості теплоємності цих матеріалів так і теплоту фазових переходів при їх розплавленні та кристалізації.

**Мета статті.** Визначення можливості використання теплоакумулюючих матеріалів в системі опалення пасажирських рухомого складу залізниць при використанні енергії електродинамічного гальмування поїзда.

**Задачі дослідження.** Аналіз, визначення переважної конструкції системи опалення із використанням теплоакумулюючих матеріалів та теоретичні дослідження щодо ефективності накопичення енергії під час використання електродинамічного гальмування поїзда.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Підвищення ефективності електричної системи опалювання стає можливим при використанні основної переваги водяної системи опалювання, а саме, опосередкованої передачі енергії від високотемпературних джерел теплоти через теплоносій з нижчою температурою, який передає теплоту до повітря через поверхні з розвиненою площею теплообміну. У тому випадку, якщо дана система матиме можливість використання енергії електродинамічного гальмування, яка в невеликі проміжки часу виробляється в об'ємі, що істотно перевищує потрібну потужність системи опалювання, є доцільним використання в якості проміжного теплоносія речовини з теплоакумулюючими властивостями. Можливість акумуляції теплоти в різних речовинах здійснюється при фазових переходах першого роду, причому фазовий перехід «рідина-тверде тіло» є прийнятнішим порівняно з переходом «рідина-газ» зважаючи на незначну зміну об'єму теплоносіїв.

Порівняльний аналіз теплоакумулюючих матеріалів [7,8,9] показує, що найкращі показники мають легкоплавкі метали зважаючи на високі значення теплоти плавлення, теплопровідність і щільність, але при цьому ці метали мають високі значення температури плавлення (таблиці 1,2).

Таблиця 1 - Порівняльні характеристики теплоакумулюючих матеріалів

Матеріал	Температура плавлення, °С	Теплота плавлення кДж/кг	Теплота плавлення МДж/м <sup>3</sup>
Галун алюмокалиєвий (KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 12H <sub>2</sub> O)	92	254,3	445,0
Калій-натрій виннокислий (KNaC <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> · 4H <sub>2</sub> O)	75	254,3	324,7
Свинець (Pb)	327,4	24,3	275,6
Олово (Sn)	232,26	59,0	430,7
Кадмій (Cd)	320,9	53,7	462,9
Цинк (Zn)	419,46	112,2	798,1

Таблиця 2 - Основні фізичні властивості легкоплавких металів

Параметр	Олово	Свинець	Кадмій	Цинк
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	7300	11340	8620	7133
Питома теплоємність кристалічної фази, Дж/кг °С	221,9	129,37	334,94	376,81
Теплота фазового переходу кДж/кг	59,0	24,3	53,7	112,2
Питома теплоємність рідкої фази, Дж/кг °С	0,041	0,025	293,08	334,94
Температура плавлення, °С	171,66	104,67	320,9	419,46

Разом з легкоплавкими металами для акумуляції теплоти нині широко використовують різні кристалогідрати металів зважаючи на невисоку температуру плавлення. Проте ці матеріали мають істотно меншу щільність і теплопровідність в твердій фазі, що приведе до можливого зниження ефективності процесів теплопередачі нагрівачів і збільшення габаритних розмірів пристроїв (див. таблицю 1).

Представлені дані показують, що переважніше використовувати легкоплавкі метали як акумулятори теплоти зважаючи на більшу кількість енергії, що запасасться, і високих значень температури електричних нагрівальних елементів. Проте це приведе до того ж ефекту, що спостерігається на існуючих обігрівачах салону, а саме: істотне перегрівання повітря салону і поверхні обгороджувачів нагрівачів.

Можливим технічним рішенням цієї проблеми є використання другого теплоносія, який здійснюватиме передачу теплоти від теплоакумулюючого матеріалу до теплообмінної поверхні з розвиненою площею теплообміну. З метою максимального спрощення конструкції цього типу нагрівача і недопущення перегрівання повітря салону доцільно використовувати або рідинну систему передачі теплоти за допомогою примусової циркуляції теплоносія між теплоакумулюючим елементом і теплообмінником або герметичні теплові трубки, які частково заповнені рідиною з температурою кипіння в діапазоні 70...100 °С (етиловий спирт, вода і тому подібне). Випар рідини в частині трубки, що знаходиться в першому теплоносії (легкоплавкому металі) і її наступна конденсація в частині трубки, що знаходиться в повітряному середовищі забезпечить ефективну теплопередачу в необхідному діапазоні температури.

При аналізі фізичних властивостей легкоплавких металів і прийнявши їх об'єм рівний 1 літру і первинну температуру 20 °С, розрахуємо енергетичні витрати на нагрів, розплавлення і подальший нагрів рідких металів до кінцевої температури 500 °С. Розрахункові дані приведені в таблиці 3 та на рисунку 1.

Таблиця 3 - Енергетичні витрати на нагрів і розплавлення легкоплавких металів

Енергетичні витрати, кДж	Олово	Свинець	Кадмій	Цинк
- на нагрів від 20 °С до температури плавлення	343,82	74,14823	868,761	1073,127
- на плавлення	443,1728	299,105	476,3741	719,4178
- на нагрів від температури плавлення до 500 °С	335,4883	323,5559	452,4675	192,4253
Разом:	1097,36	1073,663	1797,603	1985,004

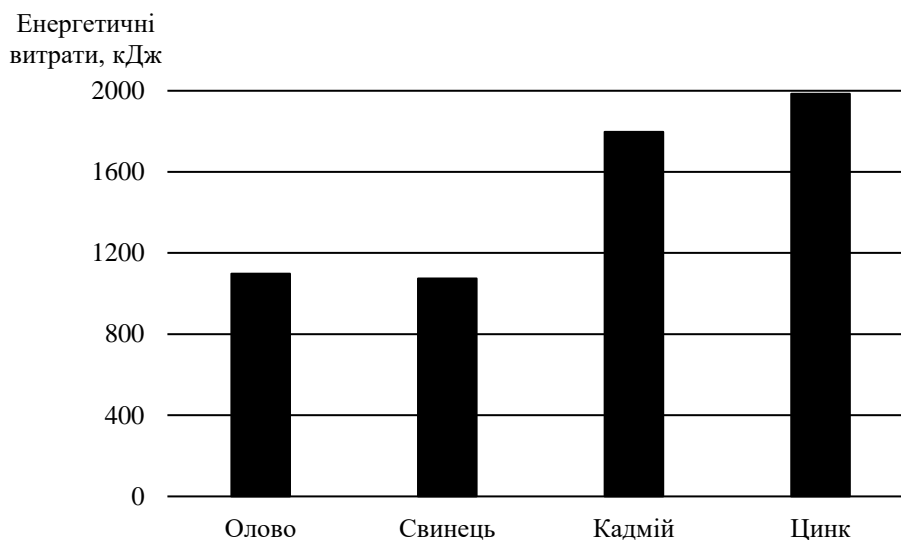


Рисунок 1 - Енергетичні витрати на нагрів і розплавлення легкоплавких металів від 20 °С до 500 °С

В результаті дослідження визначено, що в якості переважного теплоакumuлюючого матеріалу для його використання на рухомому складі залізниць є цинк. Принципова схема теплоакumuлюючого модуля, що забезпечує утилізацію енергії електродинамічного гальмування, повинна включати:

- термоса, що утримує температуру  $500 \pm 100$  °С з корисним об'ємом V;
- корисний об'єм заповнений теплоакumuлюючим матеріалом (цинк);
- у внутрішньому об'ємі термоса розташований нагрівальний елемент, що перетворює електричну енергію в теплову і забезпечує нагрівання теплоакumuлюючого матеріалу до температури 500 °С;
- трубчастий теплообмінник, розташований усередині об'єму V термоса, забезпечений входом і виходом для можливості нагріву робочого теплоносія (вода) і передачі від останньої теплоти повітрю кабіни або салону рухомого складу за допомогою радіаторів, конвекторів і тому подібне.
- водяного насоса для забезпечення циркуляції робочого теплоносія через теплоакumuлюючий модуль;
- пристрою, що управляє та забезпечує працездатність системи опалювання.

На підставі результатів статистичної інформації [10] для залізниць України на кожен кілометр використання електродинамічного гальмування (ЕДГ) в контактну мережу повертається  $\tilde{A}=25$  кВт·год/км.

У такому разі, повна енергія, ЕДГ, що виділяється, при одиничному гальмуванні:

$$A_T = \tilde{A}l_T,$$

$$l_T = v_{\text{тех}}t_1,$$

де  $l_T$  - довжина гальмівної ділянки;

$v_{\text{тех}}$  - технічна швидкість гальмування поїзда;

$t_1$  - час одиничного гальмування потягу.

Таким чином:

$$A_T = \tilde{A}v_{\text{тех}}t_1,$$

чи переходячи до потужності гальмування :

$$N_T = \tilde{A}v_{\text{тех}}.$$

При використанні енергії ЕДГ для забезпечення роботи системи кондиціонування спільно з акумуляторами теплоти рівняння балансу потужності :

$$N_T = N_K + N_{\text{ак}},$$

де  $N_T = N_{\text{кв}}n_v$ , - загальна потужність системи кондиціонування потягу;

$N_{\text{кв}}$  – потужність системи кондиціонування вагону;

$n_{\text{в}}$  – кількість вагонів в поїзді.

Представлені залежності дозволяють визначити потужність, споживану акумулятором теплоти :

$$N_{\text{ак}} = \tilde{A}v_{\text{тех}} - N_{\text{кв}}n_{\text{в}}.$$

Акумуляція теплоти здійснюється у декілька етапів: нагрів матеріалу до температури плавлення, безпосереднього плавлення і наступний нагрів рідкої фази. Виходячи з цього, кількість теплоти, необхідна для проведення вказаних процесів [11,12] визначиться виходячи з наступної залежності :

$$Q_{\text{ак}} = c_{\text{т}}m\Delta T_1 + c_{\text{ж}}m\Delta T_2 + \lambda_{\text{пл}}m = m(c_{\text{т}}\Delta T_1 + c_{\text{ж}}\Delta T_2 + \lambda_{\text{пл}}),$$

де  $c_{\text{т}}$ ,  $c_{\text{ж}}$  - теплоємність теплоакумулюючого матеріалу для твердої і рідкої фази, відповідно;

$\Delta T_1$  – різниця температури від початку нагрівання до температури плавлення твердої фази матеріалу;

$\Delta T_2$  – різниця температури від температури плавлення до закінчення нагрівання рідкої фази матеріалу;

$\lambda_{\text{пл}}$  – питома теплота плавлення;

$m$  – маса теплоакумулюючого матеріалу.

Виходячи з раніше певної довжини гальмівної ділянки час одиничного гальмування складе:

$$t_1 = \frac{l_{\text{т}}}{v_{\text{тех}}},$$

на підставі чого питома теплота, що сприймається теплоакумулюючим матеріалом:

$$q_{\text{ак}} = m \frac{v_{\text{тех}}}{l_{\text{т}}} (c_{\text{т}}\Delta T_1 + c_{\text{ж}}\Delta T_2 + \lambda_{\text{пл}}),$$

Оскільки потужність, споживана акумулятором теплоти і питома теплота сприймана теплоакумулюючим матеріалом в рівній мірі відповідають один одному, то:

$$N_{\text{ак}} = \tilde{A}v_{\text{тех}} - N_{\text{кв}}n_{\text{в}} = m \frac{v_{\text{тех}}}{l_{\text{т}}} (c_{\text{т}}\Delta T_1 + c_{\text{ж}}\Delta T_2 + \lambda_{\text{пл}})$$

Остання рівність дозволяє визначити масу теплоакумулюючого матеріалу для погодженої роботи електродинамічного гальма локомотиву і системи кондиціонування повітря потягу, а саме:

$$m = \frac{l_{\text{т}}}{v_{\text{тех}}} \frac{\tilde{A}v_{\text{тех}} - N_{\text{кв}}n_{\text{в}}}{c_{\text{т}}\Delta T_1 + c_{\text{ж}}\Delta T_2 + \lambda_{\text{пл}}}$$

чи в перерахунку на систему кондиціонування одного вагону :

$$m_{\text{в}} = \frac{l_{\text{т}}}{n_{\text{в}}v_{\text{тех}}} \frac{\tilde{A}v_{\text{тех}} - N_{\text{кв}}n_{\text{в}}}{c_{\text{т}}\Delta T_1 + c_{\text{ж}}\Delta T_2 + \lambda_{\text{пл}}}$$

Час розрядження акумулятора теплоти можливо визначити на підставі наступної залежності:

$$t_p = \frac{Q_{\text{ак в}}}{N_{\text{кв}}}$$

де  $Q_{\text{ак в}}$  – кількість теплоти, що сприйняв теплоакумулюючий матеріал

$$Q_{\text{ак}} = m_{\text{в}}(c_{\text{т}}\Delta T_1 + c_{\text{ж}}\Delta T_2 + \lambda_{\text{пл}}),$$

Та у кінцевому вигляді:

$$t_p = \frac{m_{\text{в}}(c_{\text{т}}\Delta T_1 + c_{\text{ж}}\Delta T_2 + \lambda_{\text{пл}})}{N_{\text{кв}}}.$$

**Висновки.** В результаті проведеного аналізу визначена можливість підвищення техніко-економічних показників тягових одиниць рухомого складу залізниць шляхом акумуляції електричної енергії, що виробляється при електродинамічному гальмуванні. Застосування акумуляторів теплоти в системі кондиціонування салонів пасажирських вагонів дозволяє максимально реалізувати потужність тягових електродвигунів в режимі гальмування. Теоретичні дослідження дозволили визначити погоджений режим роботи ЕДГ і акумулятора теплоти, а саме між енергією, що виробляється, і теплофізичними параметрами теплоакумулюючого матеріалу.

## Література

1. ДСТУ 4049-2001. Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Вимоги безпеки.
2. Філімонов В.І. Фізіологія людини: [підручник] / Володимир Іванович Філімонов. – [4-е вид.]. - К.: ВСВ «Медицина», 2021. - 488 с.
3. Вайе В. Зависимость здоровья человека от теплового баланса / В. Вайе // Климат и здоровье человека. Труды международного симпозиума ВМО, ВОЗ, ЮНЕП. - Л.: Гидрометеиздат. – Том 1. – 1988 г. – с.173-195.
4. Кикнадзе О.А. Исследование условий труда локомотивных бригад на электровозах: дис. ... канд. Техн. наук: 05.22.07 / Кикнадзе Отар Александрович. – Л., 1965. – 170 с.
5. Быков Б.В. Устройство и техническое обслуживание пассажирских вагонов / Б. В. Быков. – М.: Желдориздат, 2006. – 344 с.
6. Голубенко А.Л., Кузьменко С.В., Найш Н.М. Повышение эффективности системы отопления и вентиляции пассажирского вагона пригородного сообщения ОАО «ХК Лугансктепловоз» / А.Л. Голубенко, С.В. Кузьменко, Н.М. Найш // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №8(78). - ч.2. – 2004. – с. 204-209.

7. Лахно В. А. Аккумуляирование тепловой энергии на транспорте / В.А. Лахно. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2003. – 234 с.
8. Левенберг В. Д. Аккумуляирование тепла / В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач, В.А. Гольстрем. - Киев: Техника, 1991. - с. 49-74.
9. Мозговой А. Г. Теплофизические свойства теплоаккумулярующих материалов. Кристаллогидраты / А.Г. Мозговой, Э.Э. Шпильрайн, М.А. Дибиров и др. - М.: ИВТАН АН СССР, 1990. - № 2 (82).
10. Технологічна інструкція по налагодженню схем рекуперативного гальмування електровозів постійного струму. ЦЕ/005. – Київ. – 183 с.
11. Исаченко В.П. Теплопередача: [Учебник для вузов] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
12. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – [изд. 2-е, стереотип.]. - М.: Энергия, 1977. - 344 с.

## References

1. DSTU 4049-2001. Vahony pasazhyrski mahistralni lokomotyvnoi tiahу. Vymohy bezpeky.
2. Filimonov V.I. Fiziolohiia liudyny: [pidruchnyk] / Volodymyr Ivanovych Filimonov. – [4-e vyd.]. - К.: VSV «Medytsyna», 2021. - 488 s.
3. Vaie V. Zavysymost zdorovia cheloveka ot teplovoho balansа / V. Vaie // Klymat y zdorove cheloveka. Trudy mezhdunarodnoho sympozyuma VMO, VOZ, YuNEP. - L.: Hydrometeoizdat. – Tom 1. – 1988 h. – s.173-195.
4. Кукнадзе О.А. Yssledovanye uslovyi truda lokomotyvnykh bryhad na elektrovozakh: dys. ... kand. Tekhn. nauk: 05.22.07 / Кукнадзе Отар Александрович. – L., 1965. – 170 s.
5. Выков В.В. Ustroystvo y tekhnicheskoe obsluzhyvanye passazhyrskykh vahonov / В. В. Выков. – М.: Zheldoryzdat, 2006. – 344 s.
6. Holubenko A.L., Kuzmenko S.V., Naish N.M. Rovnyshenye effektivnosti systemy otopleniya y ventilyatsyy passazhyrskoho vahona pryhorodnoho soobshcheniya ОАО «KhK Luhanskteplovoy» / A.L. Holubenko, S.V. Kuzmenko, N.M. Naish // Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. - №8(78). - ch.2. – 2004. – s. 204-209.
7. Lakhno V. A. Akkumulyrovanye teplovoi enerhiyы na transporte / V.A. Lakhno. – Luhansk: VNU ym. V. Dalia, 2003. – 234 s.
8. Levenberh V. D. Akkumulyrovanye tepla / V. D. Levenberh, M. R. Tkach, V.A. Holstrem. - Kyev: Tekhnyka, 1991. - s. 49-74.
9. Mozghovoi A. H. Teplofyzicheskiye svoystva teploakkumulyruyushchykh materyalov. Krystallohydraty / A.H. Mozghovoi, Э.Э. Shpylrain, M.A. Dybyrov y dr. - M.: YVTAN AN SSSR, 1990. - № 2 (82).
10. Tekhnolohichna instruktsiia po nalazhodzhenniu skhem rekuperatyvnoho halmuvannia elektrovoziv postiinoho strumu. TsIE/005. – Kyiv. – 183 s.
11. Ysachenko V.P. Teploperedacha: [Uchebnyk dlia vuzov] / V.P. Ysachenko, V.A. Osypova, A.S. Sukomel. – М.: Enerhoizdat, 1981. – 416 s.
12. Mykheev M.A. Osnovy teploperedachy / M.A. Mykheev, Y.M. Mykheeva. – [yzd. 2-e, stereotyp.]. - М.: Enerhiya, 1977. - 344 s.

*The article analyzes the requirements for the parameters of the microclimate of cabins and cabins of passenger rolling stock and the design of the heating system of modern passenger rolling stock. The use of liquid or electrical systems in passenger cars has both advantages and disadvantages for each system and cannot fully meet the requirements for microclimate parameters or operational safety. In particular, it was noted that the use of electric heaters allows the use of electrodynamic braking energy, which can significantly reduce the energy consumption of the heating system of passenger rolling stock. Consumption of electrodynamic braking is limited during the train movement and the electric energy produced may exceed the required energy of the heating system, so the design of this system must have structural elements that can accumulate excess braking energy. In this case, the most effective option is the use of heat-storing materials with the possibility of using phase transitions of the first kind. Analysis of the thermophysical properties of different materials led to the conclusion that in the framework of this task, such a heat-accumulating material is zinc. It allows you to store the most heat per unit volume, taking into account its density, heat capacity and heat of fusion (crystallization) compared to various crystal hydrates, lead, tin and cadmium. The article conducts theoretical research on the possibility of coordinated operation of the heat storage module of the heating system with electrodynamic train brake with optimal mass and dimensions. This allows, based on statistical information on the use of this type of braking and the amount of energy produced, to determine the required mass (volume) of heat storage material for the heating system of the passenger car, as well as the time required to charge and discharge the heat accumulator.*

**Keywords:** car, temperature, fencing, electrodynamic brake, power, heat accumulating material, heat of fusion, density, heat capacity, mass.

**Кузьменко С. В.** канд. техн. наук, доцент, декан факультету транспорту і будівництва Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля.

**Марченко Д. М.** докт. техн. наук, професор, перший проректор Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля.

**Заверкін А. В.** канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля.

**Ларченко М. І.** студент гр.ЗТ-19д кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля.