

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА (144)

УДК 629.4.048.7

**ЗНИЖЕННЯ НЕПРОДУКТИВНИХ ВИТРАТ ТЕПЛА ПАСАЖИРСЬКОГО
РУХОМОГО СКЛАДУ В ОПАЛЮВАЛЬНИЙ ПЕРІОД**

Кандидати техн. наук Е. В. Білошицький, А. О. Ловська, магістр С. С. Мямлін

**REDUCTION OF UNPRODUCTIVE HEAT CONSUMPTIONS OF PASSENGER
ROLLING STOCK IN THE HEATING PERIOD**

PhD (Tech.) E. V. Biloshytskyi, PhD (Tech.) A. O. Lovska, master S. S. Myamlin

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.194.2020.230091>

***Анотація.** Досліджено способи підвищення енергоефективності систем опалення рухомого складу. Виявлено недоліки експлуатаційної документації, що збільшують непродуктивні витрати теплової енергії пасажирськими вагонами при експлуатації опалювальної установки з комбінованим електровугільним котлом в режимі електричного опалення. Встановлено недоліки існуючих конструкцій системи вентиляції пасажирських вагонів, які впливають на енергоефективність систем життєзабезпечення пасажирських вагонів. Визначено шляхи підвищення енергоефективності систем вентиляції пасажирських вагонів.*

***Ключові слова:** експериментальні виміри, пасажирський вагон, теплові процеси, система опалення.*

***Abstract.** Passenger rolling stock is an important component of passenger transportation services, which should ensure not only traffic safety, but also comfortable transportation conditions. Studies on the energy saving of railway rolling stock have revealed shortcomings in the operating documentation that increase the unproductive consumption of thermal energy by passenger cars during the operation of a heating system with a combined electric-coal boiler in electric heating mode.*

Experimental measurements confirmed the presence of unproductive losses of thermal energy through the intake blinds of the ventilation system due to the infiltration of outside air during downtime at the points of formation and turnover of passenger cars.

Also, experimental measurements showed that there is a leak of warm air through the deflectors to remove exhaust air from the car into the environment. This is their regular mode of operation, but as highlighted in the author's early publications there are two zones of temperature fields in the body of the passenger car with different temperature regimes, which are separated by a decorative ceiling. The results show that the leakage of warm air through the deflectors occurs from the temperature field zone with a higher temperature, which increases the unproductive consumption of thermal energy.

Thus, by making appropriate changes to the operating documentation based on the study, the energy efficiency of passenger rolling stock will be greatly improved in its further operation. In particular, it is established that the proposed modernization in order to increase the energy efficiency of the heating system can be carried out at relatively low cost, in modern car repair depots during overhauls, and also needs to be considered when designing new passenger cars.

***Keywords:** experimental measurements, passenger car, thermal processes, heating system.*

Вступ. Пасажирські перевезення, як відомо, є одним з основних видів діяльності залізничного транспорту. При цьому пасажирський рухомий склад є важливою складовою цього виду послуг, який має забезпечувати не тільки безпеку руху, але й комфортні умови перевезень. У цьому контексті енергозбереження – один з ключових чинників підвищення рентабельності залізничного транспорту. Встановлено два основні цільові показники енергозбереження, а саме: зниження енергоємності виробничої діяльності та підвищення її енергоефективності [1, 2].

Пасажирські вагони споживають чималу частку електроенергії для створення комфортних умов при перевезенні пасажирів, зокрема опалення займає значну частку електроенергії. Орієнтовно 20–40 % від загальної витраченої електроенергії під час перевезення пасажирів використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування повітря [3, 4]. В пунктах формування та обороту для підтримання температурного режиму в пасажирському вагоні потрібно автономне джерело енергії, як таке переважно використовується тверде паливо. При використанні твердого палива, зазвичай вугілля, ККД комбінованого електровугільного котла складає 0,40–0,65 залежно від якості твердого палива і розрідження в димовій трубі, що збільшує вартість теплової енергії на опалення приблизно на 50–60 % (залежно від якості твердого палива).

Тому дослідження, спрямоване на підвищення енергоефективності рухомого складу залізниць, є актуальною науково-прикладною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кузов пасажирського вагона складається з каркаса, який зовні обшитий тонколистовою сталлю. В середині вагона до каркаса кріпиться внутрішнє облицювання, теплоізоляція вкладається між Z-подібними профілями каркаса, тобто огорожувальною конструкцією кузова вагона.

Тенденція до заміни металевих елементів у конструкціях неметалевими пояснюється, головним чином, їх недостатньою стійкістю до корозії і великою вагою металоконструкцій [5, 6]. Крім того, застосування неметалевих огорожувальних конструкцій створює перспективу поліпшення теплотехнічних показників кузовів вагонів, що підтверджує теплотехнічна модель конструкції огороження кузова, описана в [7], крім того, автори пропонують вносити до паспорта вагона показники теплопровідності огорожувальних конструкцій кузова [8]. Зазначимо, що заміна металевих елементів каркаса, розташованих у термоізоляційному шарі на склопластикові, може знизити коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій приблизно на 20 %.

Автор роботи [9] пропонує встановлення теплоізоляції у два шари теплоізоляційного матеріалу: перший шар – вкладається між Z-подібними профілями каркаса; другий шар вкладається поверх Z-подібних профілів і першого шару мінеральної вати, яка упакована в поліетиленову плівку.

На теперішній час широко застосовується тепловізійний аудит рухомого складу. Автором роботи [10] проведений тепловізійний аудит вагонів електропоїздів з урахуванням низки чинників. Подальший розвиток і впровадження тепловізійного аудиту вимагає розробки та впровадження енергетичного паспорта для кожного вагона електропоїзда та на електропоїзд у цілому.

В роботах [11, 12] авторами висвітлено процеси інфільтрації зовнішнього повітря, яке просякає у вагон через нещільності у дверях і кузові, що збільшує витрати теплової енергії на підтримання комфортних умов у рухомому складі. Залежно від швидкості руху вагона обсяг інфільтрації [13] при зміні швидкості руху від 0 до 120 км/год досягає $325 \div 514 \text{ м}^3/\text{год}$, при більш високих швидкостях інфільтрація буде ще значнішою.

У роботах, спрямованих на підвищення енергоефективності рухомого складу, не повністю висвітлено непродуктивні витрати для комбінованого електровугільного котла, а саме: при експлуатації електричного опалення, яке цілком залежить від обслуговуючого персоналу. Також в роботах не досліджується дія інфільтрації під час перестою в пунктах формування і обороту пасажирських вагонів, вважається, що під час стоянки інфільтрації немає або вона незначна і тому не враховується. Фактично під час експлуатації протікають процеси інфільтрації, які не висвітлені і збільшують втрати теплової енергії пасажирських вагонів.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою проведених досліджень є визначення можливостей зниження непродуктивних витрат теплової енергії пасажирськими вагонами в опалювальний період.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:

1. Проведення тепловізійних вимірів для визначення місць теплових витрат у пасажирських вагонах.

2. На основі отриманих даних тепловізійної перевірки визначення заходів для їх подальшого усунення.

Основна частина дослідження. Під час експлуатації опалювальної системи пасажирського вагона обслуговуючий персонал (провідники) користуються «Інструкцією провіднику пасажирського вагона ЦЛ-0038», в якій є посилання на «Інструкцію з технічного обслуговування опалювальної установки пасажирського вагона ЦЛ-0024». У цих інструкціях не вказано, що обслуговуючий персонал при експлуатації опалювальної установки з комбінованим електровугільним котлом в режимі електричного опалення повинен закривати дверцята топки та зольника. Тому під час експлуатації опалювальних установок в комбінованому режимі обслуговуючий персонал у більшості випадків лишає дверцята топки і зольника відкритими, що сприяє вільному доступу холодного повітря до вогневої коробки комбінованого котла. За таких умов комбінований котел працює як дефлектор (рис. 1).

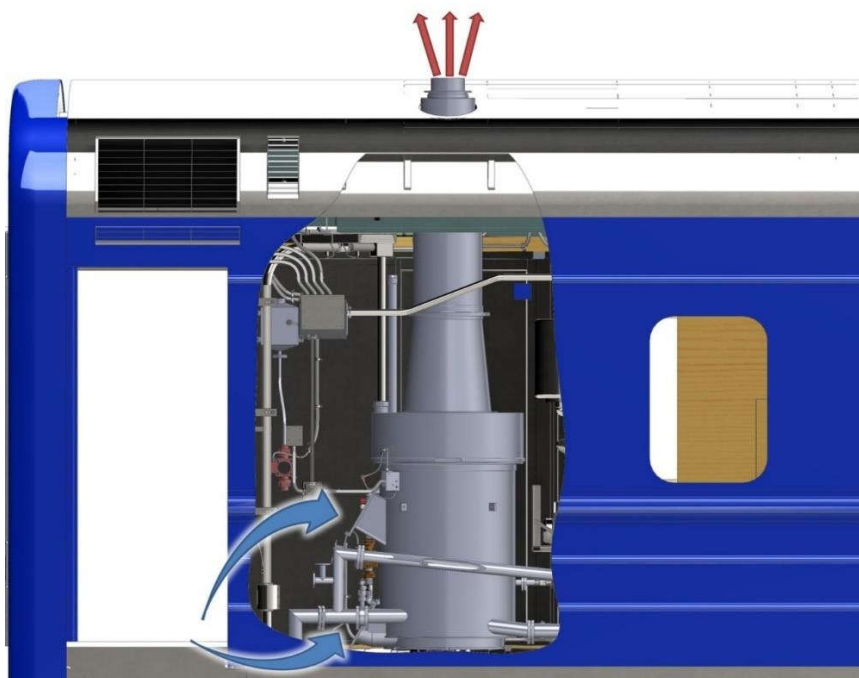


Рис. 1. Втрати теплової енергії під час експлуатації опалювальних установок у комбінованому режимі

Об'єм повітря, що проходить через котел можна обчислити за формулою

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \omega,$$

де d – діаметр димоходу, м;

ω – швидкість руху повітря через патрубков, ω залежить від швидкості руху вагона, м/с.

Результати розрахунків свідчать, що при відкритих дверцятах топки і зольника обсяг повітря, що проходить через котел, при швидкостях руху до 160 км/год може досягати 478 м³/год. Враховуючи, що теплоносій нагрітий і стінки вогневої коробки котла гарячі, холодне повітря, проходячи через котел, нагрівається і через димохід виходить у довкілля.

У даному випадку зниження витрат теплової енергії при опаленні пасажирського вагона досягається без витрат на модернізацію опалювальної установки, а лише внесенням відповідних змін до посадових інструкцій і доведенням до обслуговуючого персоналу цих змін.

Навесні 2018 року на базі пасажирських вагонів пасажирського вагонного депо Львів ПКВЧД-8 авторами були проведені тепловізійні виміри температурних полів зовнішньої сторони кузова пасажирського вагона. Увагу також було приділено дефлекторам для видалення відпрацьова-

ного повітря з вагона і забірним жалюзі зовнішнього повітря системи вентиляції.

Метою експериментальних вимірів було визначення місць теплових витрат у вагонах унаслідок дії інфільтрації зовнішнього повітря під час перестоя пасажирських вагонів для вдосконалення моделей теплового балансу пасажирських вагонів з подальшим коригуванням елементів конструкції і підвищенням енергоефективності систем опалення.

Виміри проводились в парку екіпірування:

- без впливу сонячної радіації, з 18 до 20 год;
- при зовнішній температурі +1°C й відносній вологості 70 %;
- температура всередині вагонів становила від +19 до +22°C;
- тепловізором «Testo 875-1» зав. № 1991253, діапазон вимірювання від -20 до 100°C; абсолютна похибка вимірювань становить ±2 % від вимірюваного значення.

Експериментальні виміри включали в себе вимірювання температурних полів зовнішньої сторони кузова пасажирського вагона, дефлекторів для видалення відпрацьованого повітря з вагона і забірних жалюзі зовнішнього повітря системи вентиляції. Виміри проводилися у п'яти купейних і п'яти плацкартних вагонах, теплограми вимірів окремих вагонів подано на рис. 2 і 3.

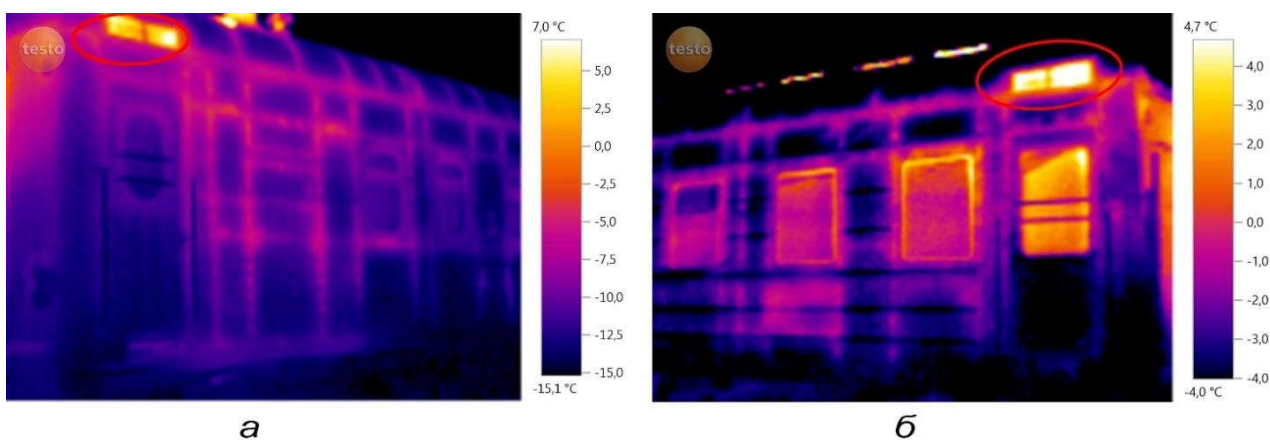
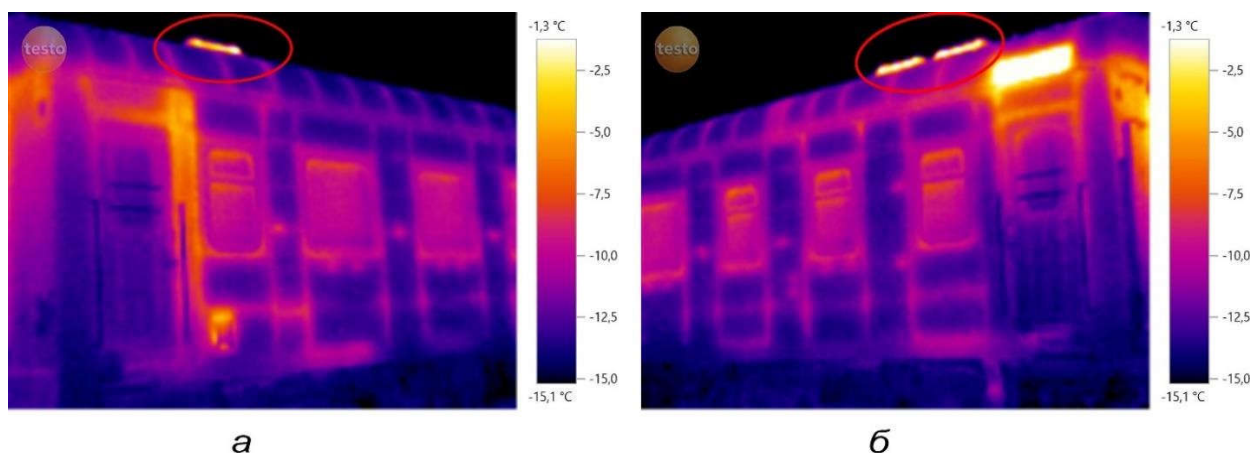


Рис. 2. Теплограми вимірів вагонів:
а, б – забірні жалюзі зовнішнього повітря системи вентиляції

Як видно з теплограм, які подано на рис. 2, спостерігаються втрати теплової енергії через забірні жалюзі системи вентиляції, а саме: повітря через повітроводи системи вентиляції виходить з вагона в зовнішнє середовище. Слід зазначити, що ситуація погіршується тим, що перед виходом в зовнішнє середовище повітря з температурою приміщення вагона проходить через водяний калорифер і догрівається до ще більшої температури.

Як видно з теплограм, які подано на рис. 3, тепле повітря через дефлектори для видалення відпрацьованого повітря виходить з вагона в зовнішнє середовище. Зазвичай це їхній штатний режим роботи, але як зазначено в роботі [14], у кузові пасажирського вагона виділено дві зони температурних полів з різними температурними режимами, які розділені декоративною стелею. Зони температурних полів під декоративною стелею мають вищу температуру повітря.



а

б

Рис. 3. Теплограми вимірів вагонів:
а, б – дефлектори для видалення відпрацьованого повітря

З метою підвищення енергоефективності систем водяного опалення для ліквідації або зниження втрат тепла через забірні жалюзі системи вентиляції авторами пропонується встановлення зворотного клапана з низьким опором в повітроводі перед калорифером за напрямком руху повітря при працюючій системі вентиляції. Таким чином при вимкненій системі вентиляції клапан буде закритий і запобігатиме втратам тепла через забірні жалюзі системи вентиляції.

Обговорення результатів дослідження підвищення енергоефективності. Результати досліджень показали, що внесення відповідних доповнень до експлуатаційної документації, а саме: «Інструкція провіднику пасажирського вагона ЦЛ–0038» та

«Інструкція з технічного обслуговування опалювальної установки пасажирського вагона», дозволить знизити непродуктивні витрати теплової енергії пасажирськими вагонами при експлуатації опалювальної установки з комбінованим електровугільним котлом в режимі електричного опалення.

За допомогою тепловізійних вимірів пасажирського рухомого складу виявлено непродуктивні витрати теплової енергії через забірні жалюзі системи вентиляції унаслідок дії інфільтрації зовнішнього повітря під час перестою в пунктах формування і обороту пасажирських вагонів. Повітря з температурою приміщення вагона проходить через калорифер і догрівається до ще більшої температури та виходить в

зовнішнє середовище, тому витрати теплової енергії збільшуються.

Висновки. 1. Внесення відповідних змін до експлуатаційної документації і посадових інструкцій: «Інструкція провіднику пасажирського вагона ЦЛ–0038» та «Інструкція з технічного обслуговування опалювальної установки пасажирського вагона ЦЛ–0024» дозволить знизити непродуктивні витрати теплової енергії при експлуатації опалювальних установок з комбінованим електровугільним котлом в режимі електроплавлення.

2. Встановлення зворотного клапана з низьким опором в повітроводі дозволить знизити непродуктивні витрати теплової енергії, запропонована модернізація легко реалізується та не потребує значних інвестицій. Таку модернізацію можна проводити в умовах сучасних вагоноремонтних депо при проведенні капітально-відновлювальних ремонтів, також вона потребує врахування при проектуванні нових пасажирських вагонів.

Список використаних джерел

1. Остапчук В. Н., Залозных В. А., Подопригора А. И. Энергосбережение – современный путь развития железнодорожного транспорта. *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит.* 2012. № 12. С. 22–28.
2. Фалендиш А. П., Володарець М. В., Артеменко О. В. Перспективи енергозбереження для електрофікованих транспортних засобів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.* 2017. № 4. С. 215–218.
3. Vetterli N., Menti P., Sidler F., Thaler E., Zweife G. Energy efficiency of railway vehicles. *Future Buildings and Districts - Sustainability from Nano to Urban Scale: Proceedings of CISBAT 2015 International Conference, Lausanne, 9.09-11.09. 2015. Lausanne, Switzerland, 2015. P. 955–960.*
4. Sweeney E., Brunton J. Modification of Luas heating and ventilation systems to reduce energy consumption. *Irish Transport Research Network Conference: Trinity College Dublin, Dublin, Ireland, 5-6 September, 2013. URL:10.21427/16za-cg14.*
5. Китаев Б. Н., Рубинчик И. М., Гудыма У. В. Пути улучшения теплотехнических показателей пассажирских вагонов с кондиционированием воздуха при высоких скоростях движения. Москва: Транспорт, 1974. 72 с.
6. Испытание пассажирских вагонов железных дорог на теплоустойчивость / В. П. Клюка, А. П. Стариков, Д. Ю. Кузьменко, А. А. Попов. *Известия Транссиба.* 2015. № 2. С. 6–12.
7. Іщенко В. М., Фомін О. В., Осьмак В. Е. Теплотехнічна модель конструкції огороження кузова критого вагона з теплоізоляцією. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* 2015. № 157. С. 143–149.
8. Методологічно-інформаційні аспекти паспортизації спеціалізованих ізотермічних вагонів / В. М. Іщенко, Н. С. Брайковська, В. Є. Осьмак, Н. С. Кочешкова. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. Серія: Транспортні системи і технології.* 2016. № 29. С. 154–162.
9. Рахимов Р. В. Новый пассажирский вагон купейного типа для железных дорог Узбекистана. *Известия ПГУПС.* 2010. № 2. С. 315–330.
10. Sumtsov A., Falendysh A., Chygyryk N., Vasilenko O., Vyhopen I. Stock. Energy Saving for the Suburban Rolling. *International Journal of Engineering & Technology.* 2018. № 7. P. 361–365.
11. Кузина Л. Г. Влияние инфильтрации воздуха на тепловой баланс кабин машиниста и пассажирских салонов подвижного состава железных дорог: автореф. Дис. ... канд. Техн. Наук: 05.26.01. Москва, 1996. 23 с.

12. Теоретические основы раздельного определения показателей теплообмена при теплотехнических испытаниях крытых вагонов с теплоизоляцией / В. Н. Ищенко, М. Б. Кельрих, Н. С. Брайковская, В. Е. Осьмак. *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп., присвячений 60-річчю кафедри «Вагони»*. 2013. № 139. С. 35–40.

13. Гудыма Е. В. Повышение эффективности вентиляционных систем пассажирских вагонов. *Вестник ВНИИЖТ*. 1988. № 7. С. 42–46.

14. Білошицький Е. В. Енергоефективність систем життєзабезпечення рухомого складу залізниць. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* 2018. № 179. С. 13–25. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.179.2018.147709>.

Білошицький Едуард Васильович, інженер-конструктор, канд. Техн. Наук, ТОВ «ШКОДА ТРАНСПОРТЕЙШН УКРАЇНА». Тел.: +38-067-910-23-04. E-mail: e.beloshickiy@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-2424-8479.

Ловська Альона Олександрівна, канд. Техн. Наук, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35.

E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-8604-1764.

Мямлін Сергій Сергійович, здобувач, науковий співробітник проектно-конструкторського технологічного бюро Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: +38-096-135-68-84. E-mail: sergeymyamin91@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-9204-4435.

Biloshytskyi Eduard engineering constructor, PhD (Tech.) «SKODA TRANSPORTATION UKRAINE LLC».

Tel.: +38-067-910-23-04. E-mail: e.beloshickiy@gmail.com. ORCID 0000-0002-2424-8479.

Lovska Alyona Oleksandrivna, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Wagons Engineering and Quality Production, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-35.

E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-8604-1764.

Myamin Sergiy, applicant, Researcher of Design Technology Bureau Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan. Tel.: +38-096-135-68-84. E-mail: sergeymyamin91@gmail.com.

ORCID: 0000-0002-9204-4435.

Статтю прийнято 01.12.2020 р.