DOI: https://doi.org/10.33216/2222-3428-2024-27-10
УДК 625.282

Могила В.І., Ковтанець М.В., Морнева М.О., Плотніков В.Д.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЗА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЮ ПЕЛЮСТКОВОГО ЖАЛЮЗІЙНОГО МЕХАНІЗМУ

Незамінною підсистемою наземних транспортних засобів (рейкових, автомобільних) є модуль охолодження двигуна.. За певних умов експлуатації система охолодження є основним джерелом шуму та компонентом із другим за величиною споживання енергії (після двигуна). Надійність експлуатації рухомого складу залізниць багато в чому залежить від якості функціонування системи охолодження, ефективність якої в процесі експлуатації знижується, що призводить до роботи дизеля за підвищеної температури теплоносіїв, зниження надійності, обмеження потужності силової установки і, як наслідок, погіршення паливної економічності. Верхні жалюзі різних конструкцій, що застосовуються в даний час на тепловозах, малоефективні: вони матеріаломісткі, працюють від пневмоприводу (гідроприводу), зменшують продуктивність вентилятора охолоджуючого пристрою. Підвищення ефективності роботи охолоджуючих пристроїв тепловозів значною мірою визначається аеродинамічною досконалістю вентиляторних каналів з жалюзійним апаратом на виході, які, з одного боку, повинні мати мінімальний гідравлічний опір, з іншого – відповідати всім вимогам уніфікації окремих елементів, так і конструкції в цілому. Об'єднання перерахованих вище вимог забезпечується в розробленій конструкції пелюсткового жалюзійного апарату охолоджуючого пристрою тепловоза. Гідравлічні опіри зазвичай поділяються на місцеві втрати енергії та втрати на тертя за довжиною. Запропонована конструктивна схема верхніх жалюзі має підвищені характеристики, спрямовані на підвищення ефективності системи охолодження локомотивів. Конструкція зосереджена на оптимізації потоку повітря, зниженні споживання енергії та покращенні загальної продуктивності охолоджувального пристрою. Завдяки оптимізації кута жалюзі та зменшенню опору пристрій може мінімізувати споживання енергії, тим самим підвищуючи загальну ефективність системи охолодження.

Ключові слова: *тепловоз, ККД, охолоджувальний пристрій, жалюзійний апарат, система охолодження.*

Актуальність дослідження. Надійність експлуатації рухомого складу залізниць багато в чому залежить від якості функціонування системи охолодження, ефективність якої в процесі експлуатації знижується, що призводить до роботи дизеля за підвищеної температури теплоносіїв, зниження надійності, обмеження потужності силової установки і, як наслідок, погіршення паливної економічності.

Верхні жалюзі різних конструкцій, що застосовуються в даний час на тепловозах, малоефективні: вони матеріаломісткі, працюють від пневмоприводу (гідроприводу), зменшують продуктивність вентилятора охолоджуючого пристрою.

Так, конструкцією охолоджуючого пристрою дизеля тепловоза ТЕ126 передбачено застосування круглих жалюзі з профільованою, радіально розташованою поворотною стулкою, призначені для поліпшення аеродинамічних якостей охолоджуючого пристрою за рахунок суміщення функцій жалюзійної решітки, так і спрямовуючого апарату. Для проведення порівняльних випробувань були використані верхні жалюзі плоскостворчастого типу з охолоджуючого пристрою тепловоза 2ТЕ121.

Мета дослідження – мінімізувати споживання енергії, тим самим підвищуючи загальну ефективність системи охолодження.

Викладення основного матеріалу дослідження. Проведені порівняльні аеродинамічні стендові випробування охолоджуючого пристрою дизеля тепловоза ТЕ126 показали, що в порівнянні з плоскостворчастими круглі верхні жалюзі не мають істотної аеродинамічної переваги [1]. Однією з причин недостатньої ефективності круглих жалюзі, порівняно з плоскостворчастими, є їх високий аеродинамічний опір, обумовлений зменшеним живим перерізом для проходу повітря.

Особливу роль у захаращенні живого перерізу круглих жалюзі відіграють розпірні спиці (8 шт. Ø 34 мм), 2/3 довжини яких розташована між стулками круглих жалюзі.

За результатами випробувань [1] круглі верхні жалюзі в даному виконанні без поліпшення конструкції не можуть бути рекомендовані до використання в охолодному пристрої тепловоза ТЕ126 і вимагають подальшої конструктивної доробки або заміни альтернативною конструкторською інновацією.

Проведені дослідження [2, 3, 4] показали, що вплив жалюзі на характеристику вентилятора тим суттєвіший, чим більший кут установки його лопастей та величина коефіцієнта безрозмірної витрати. Так, наприклад, у схемі з круглим колектором після встановлення жалюзі максимальне значення ККД вентилятора зменшується відповідно для Θ=15° приблизно на 14% (з 73 до 59%), а для Θ=35° – на 32% (з 83,5 до 51,1%).

Порівняльні стендові випробування холодильника тепловоза 2ТЕ10Л, обладнаного вентилятором УК-2М (Θ=20°), серійними жалюзі з паралельними стулками і радіальними жалюзі, показали, що в порівнянні з вільним вихлопом в атмосферу, серійні жалюзі зменшують продуктивність вентилятора жалюзі практично не змінюють

продуктивність вентилятора, але при незначному відхиленні (5-10°) кута установки радіальних жалюзі продуктивність вентилятора помітно зменшується.

На кафедрі ЗАТ ПТМ СНУ ім. В. Даля проведено порівняльні випробування вентиляторної установки УК-2М з верхніми жалюзі магістральних тепловозів (з паралельними стулками) та з радіальними жалюзі з плоскими поворотними стулками маневрового тепловоза ТЕМ1 [2, 3, 4]. Крок установки радіальних стулок на колі $r = 0{,}778R$ склав $t = 0{,}105D$, а кут установки щодо площини вентиляторного колеса α=90°. Жалюзі з плоскими радіальними поворотними стулками погіршують характеристику вентилятора навіть більше, ніж з паралельними. Так, вентиляторна установка УК-2М з Θ=15° і з паралельними стулками жалюзі має максимальне значення ККД $\eta_{max} = 0{,}59$, а з радіальними жалюзі $\eta_{max} = 0{,}55$.

Підвищення ефективності роботи охолоджуючих пристроїв тепловозів значною мірою визначається аеродинамічною досконалістю вентиляторних каналів з жалюзійним апаратом на виході, які, з одного боку, повинні мати мінімальний гідравлічний опір, з іншого – відповідати всім вимогам уніфікації окремих елементів, так і конструкції в цілому. Об'єднання перерахованих вище вимог забезпечується в розробленій конструкції пелюсткового жалюзійного апарату охолоджуючого пристрою тепловоза [5, 6]. Її переваги перед застарілими конструкціями верхніх жалюзі в наступному:

- виключення пневматичного (гідравлічного) приводу жалюзі;
- зменшення витрати потужності на роботу холодильника тепловоза;
- отримання повної автономної роботи даної конструкції;
- рівномірне відкриття жалюзійних стулок залежно від обертів колеса вентилятора;
- використання жалюзійних стулок,
- зниження матеріаломісткості.

Раціональне проектування верхніх жалюзі охолоджуючого пристрою тепловоза є складним завданням, що вирішується. Для цього необхідно розглянути питання впливу геометрії внутрішнього обведення на опір пелюсткового жалюзійного апарату.

Втрати питомої енергії (напору), чи, як часто називають гідравлічні втрати чи гідравлічні опіри, залежить від форми, розмірів проточної частини, швидкості течії і в'язкості рідини.

Гідравлічні опіри зазвичай поділяються на місцеві втрати енергії та втрати на тертя за довжиною. Так як в досліджуваних жалюзійних апаратах довжина і площа патрубків, що підводять до жалюзійних апаратів однакові, то можна вважати, що у всіх конструкціях втрати енергії на подолання тертя по довжині однакові. А втрати на місцевих опорах у всіх конструкціях різні, тому що геометрія кожної конструкції проточної частини жалюзійного апарату є різною.

Місцеві втрати (опір) обумовлені зміною форми та розміру проточної частини, що спричиняє деформацію потоку. При протіканні газу через місцеві опори змінюється його швидкість і зазвичай виникають великі вихори, які утворюються за місцем відриву потоку від стінок, і є областями, в яких частинки газу рухаються в основному по замкнутим кривим або близьким до них траєкторіям.

Значення коефіцієнтів місцевих втрат ξ у більшості випадків отримують із дослідів, на підставі яких виводять емпіричні формули та будують графіки. Однак, для течій у досліджуваних жалюзійних апаратах, коефіцієнти місцевих опорів можна розрахувати за допомогою наведених раніше математичних моделей та розрахунків за ними [7]:

$$\xi = \frac{\Delta p}{\rho V^2 / 2},$$

де Δp – втрати повного тиску, які можна визначити за результатами розрахунку математичних моделей, щодо розподілу тисків у проточній частині;

$\rho V^2 / 2$ – динамічний тиск у прийнятому перерізі, що визначається за допомогою розподілу швидкостей.

У досліджуваній конструкції жалюзійного апарату залежно від кута повороту жалюзі виникають течії при поступовому розширенні (позитивні кути) та при поступовому стисканні (негативні кути). Течія при поступовому розширенні (дифузор) супроводжується збільшенням тиску, а отже, перетворенням кінетичної енергії газу в енергію тиску. Частинки газу, що рухаються, долають наростаючий тиск за рахунок кінетичної енергії, яка зменшується вздовж поступового розширення. Шари газу, що прилягають до стінок, мають таку малу кінетичну енергію, що іноді виявляються не в змозі долати підвищений тиск, вони зупиняються або починають рухатися назад. Зворотний рух викликає відрив основного потоку від стінки та виховання. Інтенсивність цих явищ зростає із збільшенням кута розширення, а водночас зростають втрати на вихроутворення.

Таким чином, при різних кутах розкриття жалюзі виникають різні опіри, отже, і коефіцієнти місцевих опорів. При поступовому звуженні потоку (тобто при малих кутах відкриття жалюзі) перебіг газу супроводжується збільшенням швидкості та падінням тиску на початку поступового звуження вище, ніж наприкінці, причин для виникнення вихроутворення та зривів потоку (як при поступовому розширенні, або при великих кутах відкриття жалюзі) немає.

Вихроутворення та відрив потоку від стінки з одночасним стисненням потоку виникає на виході з конфузорної проточної частини. Таким чином, чим менше кут відкриття жалюзі, тим більше стискається потік, що призводить до великих втрат енергії і, отже, коефіцієнт місцевих опорів збільшується [8].

На рисунку 1 зображено залежність зміни відносного коефіцієнта місцевих опорів від величини кута відкриття жалюзі, визначений за допомогою розрахунків математичної моделі. Коефіцієнти місцевих опорів віднесені до коефіцієнта місцевих опорів при $\alpha = 0$. При розрахунку коефіцієнтів враховано втрати тертя за довжиною проточної частини.

Як видно з рисунку 1, найменший опір при $\alpha = 0$, також оптимальними кутами можна вважати кути від 80 до 104°.

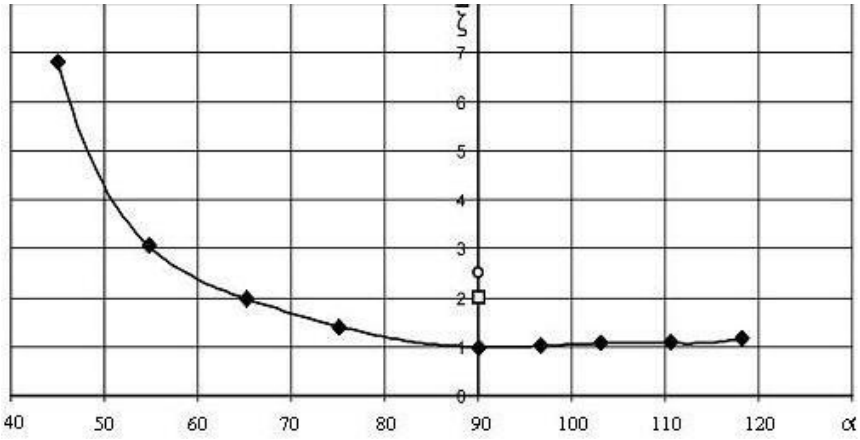
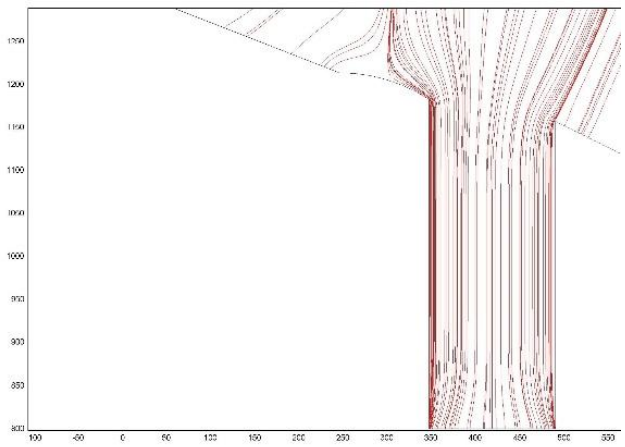
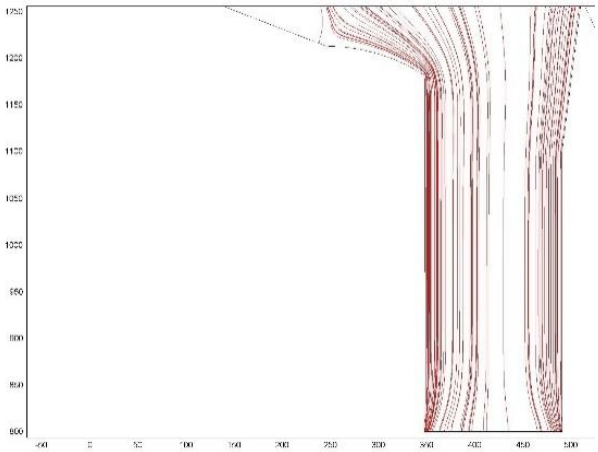


Рисунок 1 – Характеристика зміни коефіцієнта опору від кута розкриття жалюзі:
♦ – пелюстковий жалюзійний апарат
(кожна точка відповідає певній конструкції, точка на осі – циліндричний канал);
□ – верхні жалюзі плоскостворчастого типу (тепловоз 2ТЕ121);
○ – радіальними жалюзі (тепловоз ТЕ126).

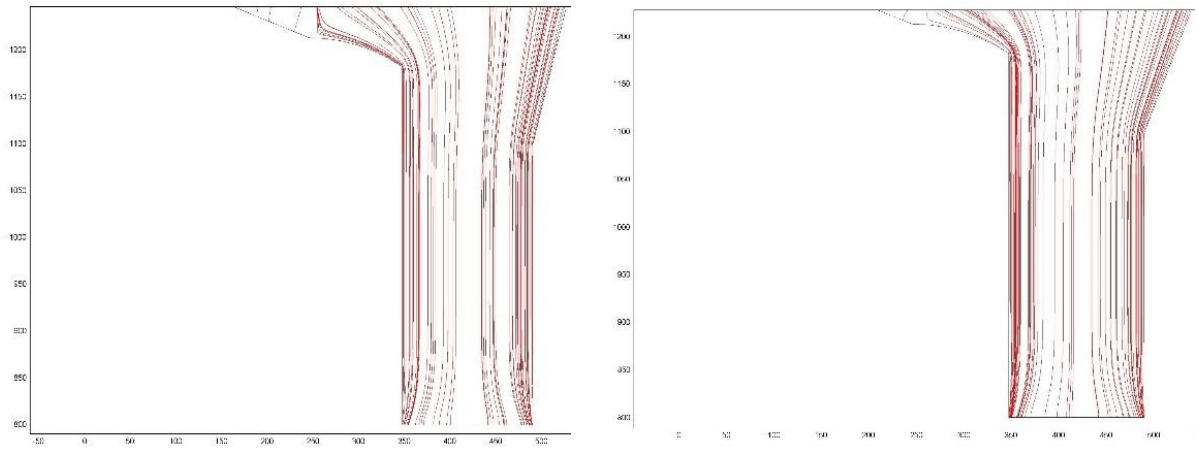
Цей рисунок 1 ілюструє, як змінюється коефіцієнт опору в залежності від кута відкриття жалюзі для різних типів конструкцій жалюзі. Кожен символ представляє дані для конкретної конструкції або локомотива, показуючи, як опір змінюється залежно від конфігурації та кута відкриття жалюзі.



а



б



в г

Рисунок 2 – Лінії струму течії повітря в жалюзійному апарату за різних кутів:
а – $\alpha = 90^\circ$; б – $\alpha = 97^\circ$; в – $\alpha = 104^\circ$; г – $\alpha = 111^\circ$.

На рисунку 2 показано лінії потоку повітря всередині апарату з жалюзі під різними кутами відкриття жалюзі. Кожна підфігура (a, b, c, d) представляє різні ракурси, демонструючи, як поведінка потоку змінюється залежно від кута жалюзі, впливаючи на загальну ефективність та аеродинамічні характеристики системи [9].

Висновки.

Для економічної оцінки розробленого жалюзійного апарату системи охолодження локомотива необхідно розглядати його з точки зору енергозбереження, пов'язаного з потужністю, споживаною приводом вентилятора. Завдяки оптимізації кута жалюзі та зменшенню опору пристрій може мінімізувати споживання енергії, тим самим підвищуючи загальну ефективність системи охолодження локомотива.

Література

1. Протокол № 35-88 стендових аеродинамічних випробувань верхніх жалюзі з плоским клапаном і круглих жалюзі з профільованим клапаном для охолоджувального пристрою тепловоза ТЕ126 (22.03.1988).
2. Куликов Ю.А. Системи охолодження тепловозних електростанцій / Ю.А. Куликов. – Машинобудування, 1980. – 280 с.
3. Mogila V. To the calculation of heat transfer during steam condensation in heat exchanger pipes of the diesel locomotive engine cooling system / V. Mogila, M. Kovtanets, M. Morneva, T. Kovtanets / Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means 2021 (Part III), October 06-08, Kaunas, Lithuania. 2021. – P. 1042-1046.
4. Могила В. Експериментальні дослідження теплообміну при охолодженні води та конденсації пара в тепловозних радіаторних секціях / В. Могила, М. Ковтанець, М. Морнева // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». Вип. 38. К.: ДУІТ, 2021. – С. 107-114. https://doi.-org/10.32703/2617-9040-2021-38
5. Патент на корисну модель № 3137 B60J1/20, B60H1/24 Жалюзійний пристрій холодильної камери тепловоза / Могила В.І., Басов Г.Г., Горбунов М.І., Світличний К.А., Попов С.В.; заявник і власник СНУ ім. В.Даля. – u 2004 020823; заявл. 05.02.2004; опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10. – 4 с.
6. Могила В.І. Вдосконалення енергетичних характеристик тепловоза шляхом оптимізації умов охолодження / В.І. Могила, М.В. Ковтанець, Т.М. Ковтанець // Наукові вісті Далівського університету, № 21, 2021. Електронне наукове фахове видання. DOI: https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-15
7. Могила В.І. До розрахунку тепловіддачі при конденсації пара в трубах теплообмінників системи охолодження тепловозних дизелей / В.І. Могила, М.В. Ковтанець, М.О. Морнева, Т.М. Ковтанець // Наукові вісті Далівського університету, № 23, 2022. Електронне наукове фахове видання. DOI: https://doi.org/10.33216/2222-3428-2022-23-13
8. Mogila V. Improving the efficiency of locomotive cooling system by using louvered shutter apparatus / V. Mogila, M. Kovtanets, M. Morneva, A. Klimash, V. Plotnikov / Proceedings of 28th International Scientific Conference. Transport Means 2024, October 02-04, Kaunas, Lithuania. 2024. – P. 977-980. https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P977-980
9. Mogila V. Experimental studies of heat exchange during water cooling and steam condensation in diesel locomotive radiator sections / V. Mogila, M. Kovtanets, M. Morneva, T. Kovtanets / Proceedings of 27th International Scientific Conference. Transport Means 2023 (Part II), October 04-06, Palanga, Lithuania. 2023. – P. 906-910.

References

1. Protokol # 35-88 stendovih aerodinamIchnih viprobuvan verhnIh zhalyuzI z ploskim klapanom I kruglih zhalyuzI z profIlovanim klapanom dlya oholodzhuvalnogo pristroyu teplovoza TE126 (22.03.1988).
2. Kulikov Yu.A. Sistemi oholodzhennya teplovoznih elektrostantsIy / Yu.A. Kulikov. – Mashinobuduvannya, 1980. – 280 s.
3. Mogila V. To the calculation of heat transfer during steam condensation in heat exchanger pipes of the diesel locomotive engine cooling system / V. Mogila, M. Kovtanets, M. Morneva, T. Kovtanets / Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means 2021 (Part III), October 06-08, Kaunas, Lithuania. 2021. – P. 1042-1046.
4. Mogila V. EksperimentalnI doslIdzhennya teploobmInu pri oholodzhennI vodi ta kondensatsIYi para v teplovoznih radIatornih sektsIyah / V. Mogila, M. Kovtanets, M. Morneva // ZbIrnik naukovih prats Derzhavnogo unIversitetu Infrastrukturi ta tehnologIy

MInIsterstva osvIti I nauki UkraYini: SerIya «TransportnI sistemi I tehnologIYi». Vip. 38. K.: DUIT, 2021. – S. 107-114. https://doi.-org/10.32703/2617-9040-2021-38
5. Patent na korisnu model # 3137 B60J1/20, B60H1/24 ZhalyuzIyniy pristrIy holodilnoYi kameri teplovoza / Mogila V.I., Basov G.G., Gorbunov M.I., SvItlichniy K.A., Popov S.V.; zayavnik I vlasnik SNU Im. V.Dalya. – u 2004 020823; zayavl. 05.02.2004; opubl. 15.10.2004, Byul. # 10. – 4 s.
6. Mogila V.I. Vdoskonalennya energetichnih harakteristik teplovoza shlyahom optimIzatsIYi umov oholodzhennya / V.I. Mogila, M.V. Kovtanets, T.M. Kovtanets // NaukovI vIstI DalIvskogo unIversitetu, # 21, 2021. Elektronne naukove fahove vidannya. DOI: https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-15
7. Mogila V.I. Do rozrahunku teplovIddachI pri kondensatsIYi para v trubah teploobmInnikIv sistemi oholodzhennya teplovoznih dizeley / V.I. Mogila, M.V. Kovtanets, M.O. Morneva, T.M. Kovtanets // NaukovI vIstI DalIvskogo unIversitetu, # 23, 2022. Elektronne naukove fahove vidannya. DOI: https://doi.org/10.33216/2222-3428-2022-23-13
8. Mogila V. Improving the efficiency of locomotive cooling system by using louvered shutter apparatus / V. Mogila, M. Kovtanets, M. Morneva, A. Klimash, V. Plotnikov / Proceedings of 28th International Scientific Conference. Transport Means 2024, October 02-04, Kaunas, Lithuania. 2024. – P. 977-980. https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P977-980
9. Mogila V. Experimental studies of heat exchange during water cooling and steam condensation in diesel locomotive radiator sections / V. Mogila, M. Kovtanets, M. Morneva, T. Kovtanets / Proceedings of 27th International Scientific Conference. Transport Means 2023 (Part II), October 04-06, Palanga, Lithuania. 2023. – P. 906-910.

An indispensable subsystem of ground vehicles (rail, automobile) is the engine cooling module. Under certain operating conditions, the cooling system is the main source of noise and the component with the second largest energy consumption (after the engine). The reliability of railway rolling stock operation largely depends on the quality of the cooling system, the efficiency of which decreases during operation, which leads to the operation of the diesel engine at elevated coolant temperatures, reduced reliability, limited power plant power and, as a result, a deterioration in fuel economy. The upper louvers of various designs currently used on diesel locomotives are inefficient: they are material-intensive, operate from a pneumatic drive (hydraulic drive), reduce the performance of the cooling device fan. Increasing the efficiency of the cooling devices of diesel locomotives is largely determined by the aerodynamic perfection of the fan channels with a louvers at the outlet, which, on the one hand, must have minimal hydraulic resistance, and on the other hand, meet all the requirements for the unification of individual elements and the design as a whole. The combination of the above requirements is provided in the developed design of the lobed louver device of the locomotive cooling device. Hydraulic resistances are usually divided into local energy losses and friction losses along the length. The proposed design scheme of the upper louver has improved characteristics aimed at increasing the efficiency of the locomotive cooling system. The design focuses on optimizing the air flow, reducing energy consumption and improving the overall performance of the cooling device. By optimizing the louver angle and reducing resistance, the device can minimize energy consumption, thereby increasing the overall efficiency of the cooling system.
Key words: *diesel locomotive, efficiency, cooling device, louver device, cooling system.*

Могила В. І. – професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, к.т.н.; vimogila1@ukr.net

Ковтанець М. В. – доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля; к.т.н.; kovtanetsm@gmail.com

Морнева М. О. – доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, к.т.н.; morneva@gmail.com

Плотніков В. Д. – аспірант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля; qixootron@gmail.com