

*С. В. СТРИМОВСЬКИЙ***ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА НА КОЛІСНОМУ БРОНЕТРАНСПОРТЕРІ**

Стаття присвячена питанню підвищення ефективності роботи вентиляторної системи охолодження дизельного двигуна колісного бронетранспортера шляхом оптимізації алгоритму керування гідравлічним приводом вентиляторів. Актуальність дослідження зумовлена значним впливом роботи системи охолодження дизельного двигуна на величину вільної потужності усієї силової установки, оскільки споживання енергії вентиляторним приводом може досягати до 20% ефективної потужності двигуна, що негативно позначається на тягово-швидкісних характеристиках машини. Проведено аналіз сучасних наукових публікацій й технічних рішень провідних світових виробників вентиляторних систем охолодження з гідравлічним приводом для поршневих двигунів внутрішнього згорання, а також досліджень у сфері моделювання теплових процесів, оптимізації повітряних потоків і багатоконтурного охолодження дизельних двигунів. Встановлено, що існуючі підходи недостатньо враховують особливості умов роботи вентиляторної системи охолодження дизельного двигуна на колісному бронетранспортері, що пов'язано з розміщенням силової установки у заброньованому відсіку та виключенням можливості застосування у процесі охолодження двигуна зустрічного машини потоку повітря під час руху. Це потребує проведення подальшої оптимізації алгоритмів керування гідравлічним приводом вентиляторів. Основну увагу приділено аналізу експериментальних характеристик двох-вентиляторної системи охолодження дизельного двигуна колісного бронетранспортера БТР-4Е. Досліджено два алгоритми керування гідравлічним приводом вентиляторів. Показано, що вихідний алгоритм роботи забезпечує необхідний рівень охолодження, проте призводить до тривалої роботи вентиляторів у неекономічному режимі та перевищення оптимальних температурних параметрів температури охолоджуючої рідини та вхідного повітря. Запропоновано вдосконалений алгоритм керування гідравлічним приводом вентиляторів, який передбачає зміну точки контролю температури охолоджуючої рідини, а також введення зворотного зв'язку за температурою вхідного повітря. Це дозволило усунути короточасні температурні стрибки вхідного повітря, забезпечити більш стабільний тепловий режим роботи двигуна та збільшити тривалість роботи вентиляторів у економічному діапазоні частот обертання. В результаті оптимізації алгоритму керування гідравлічним приводом вентиляторів досягнуто зниження енергоспоживання гідравлічним приводом з 20% до 16,3% ефективної потужності двигуна. Отримані результати можуть бути використані при розробленні та вдосконаленні вентиляторних систем охолодження дизельних двигунів на військових броньованих машинах.

Ключові слова: вентиляторна система охолодження; гідравлічний привід вентиляторів; дизельний двигун; силова установка; бронетранспортер; оптимізація алгоритму роботи

*S. STRIMOVSKIY***OPTIMIZATION ON THE FAN COOLING SYSTEM OF A DIESEL ENGINE IN THE WHEELED ARMORED PERSONNEL CARRIER**

The article is devoted to improving the efficiency of the fan cooling system of a diesel engine in a wheeled armored personnel carrier through optimization of the control algorithm of the hydraulic fan drive. The relevance of the study is обусловлена the significant influence of the cooling system operation on the available power of the entire power unit, since the energy consumption of the fan drive can reach up to 20% of the engine effective power, which negatively affects the traction and speed performance of the vehicle. An analysis of modern scientific publications and technical solutions of leading global manufacturers of hydraulic fan cooling systems for internal combustion piston engines has been carried out, along with studies in the field of thermal process modeling, airflow optimization, and multi-circuit cooling of diesel engines. It has been established that existing approaches insufficiently take into account the specific operating conditions of the fan cooling system in wheeled armored personnel carriers. This is due to the placement of the power unit within an armored compartment and the absence of incoming airflow during vehicle motion, which necessitates further optimization of hydraulic fan drive control algorithms. Particular attention is paid to the analysis of experimental characteristics of a dual-fan cooling system of a diesel engine installed in a BTR-4E wheeled armored personnel carrier. Two control algorithms for the hydraulic fan drive were investigated. It is shown that the initial control algorithm ensures the required level of cooling; however, it results in prolonged operation of the fans in non-economical modes and leads to exceeding optimal temperature limits of both the coolant and the intake air. An improved control algorithm for the hydraulic fan drive is proposed, which involves changing the coolant temperature control point and introducing feedback based on intake air temperature. This made it possible to eliminate short-term temperature spikes of the intake air, ensure a more stable thermal operating regime of the engine, and increase the duration of fan operation within the economical speed range. As a result of the optimization of the control algorithm, the energy consumption of the hydraulic fan drive was reduced from 20% to 16.3% of the engine effective power. The obtained results can be used in the design and improvement of cooling systems for diesel engines in military armored vehicles.

Keywords: fan cooling system; hydraulic fan drive; diesel engine; power unit; armored personnel carrier; control algorithm optimization

Вступ. Робота вентиляторної системи охолодження (СО) дизельного двигуна на колісному бронетранспортері суттєво впливає на величину вільної потужності, яку виробляє силова установка. Гідравлічний привід вентиляторів й опір їх обертання можуть призвести до споживання вентиляторною СО до 20% ефективної потужності дизельного двигуна [1], що знижує значення його вільної потужності та, як наслідок, знижує тягово-швидкісні характеристики колісного бронетранспортера. Тому питання оптимізації роботи вентиляторної СО дизельного двигуна на колісному бронетранспортері залишаються актуальними і своєчасними.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. На теперішній час свої рішення для встановлення на дизельні двигуни вентиляторних систем охолодження з гідравлічним приводом вентиляторів пропонують відомі закордонні компанії Parker Hannifin Corporation (США), Danfoss (Данія), HYDAC (Німеччина), Haldex

Hydraulics AB (Швеція) [2–5]. У них відпрацьовані та надійні елементи гідравлічного приводу, але для їх застосування необхідно проводити налагоджування та оптимізацію роботи цих систем. Тому багато публікацій присвячені питанням моделювання систем охолодження з гідравлічним приводом вентиляторів [6–8]. Також обмежений простір у бойових військових машинах та велика кількість джерел тепла потребують проведення аналізу розміщення компонентів системи охолодження дизельного двигуна з гідравлічним приводом вентиляторів, оптимізації повітряних потоків та оцінюванню продуктивності системи охолодження, що наведено у публікаціях [9–11].

Крім того, для ефективної роботи дизельного двигуна конструкція його системи охолодження повинна передбачати охолодження надувного повітря. Це питання висвітлено у публікаціях

© С. В. Стрیمовський, 2026

моделювання системи багато контурного охолодження деталей дизельного двигуна [12–14], дослідження охолоджувачів надувного повітря [15–17].

У зазначених публікаціях відсутній аналіз режимів роботи вентиляторної СО дизельного двигуна на колісному бронетранспортері та їх оптимізація, що може дозволити знизити величину споживання ефективної потужності дизельного двигуна для забезпечення роботи СО та підвищити його вільну потужність для збільшення тягово-швидкісних характеристик колісного бронетранспортера.

Мета та постановка задачі – проведення аналізу результатів експериментальних характеристик зміни параметрів силової установки з двохвентиляторною системою охолодження дизельного двигуна на колісному бронетранспортері та оптимізація роботи гідравлічного приводу вентиляторів.

Основна частина. Розглянемо результати експериментальних досліджень двохвентиляторної

СО дизельного двигуна на колісному бронетранспортері, функціональна схема якої наведена на рис.1 Конструкція гідравлічного приводу з системою керування описані у статтях [18, 19]. Потужність, що споживається гідравлічним приводом двох вентиляторів, зростає по параболічній залежності від їх частоти обертання та має економічний режим роботи у діапазоні частот 1000.. 3000 об/хв [20], у якому вона зростає у межах 2,4..17,6 кВт. Після чого у діапазоні частот 3000..5000 об/хв потужність зростає у межах 17,6..67,8 кВт. Виходячи з цього завдання лінійної залежності зростання частоти обертання вентиляторів n_v від зростання частоти обертання колінчастого валу дизельного двигуна або положення педалі подачі палива не буде ефективним та призведе до споживання найбільших значень потужності гідравлічним приводом вентиляторів та роботи на неекономічних режимах.

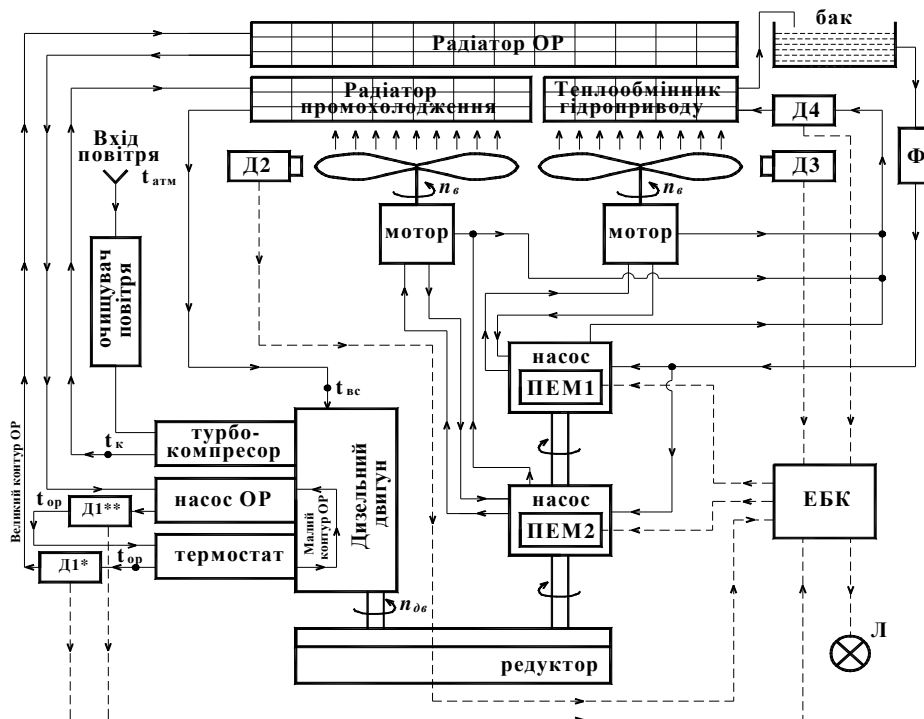


Рисунок 1 – Функціональна схема двох вентиляторної СО дизельного двигуна:

Д1* – давач температури охолоджуючої рідини СО для алгоритму I; Д1** – давач температури охолоджуючої рідини СО для алгоритму II; Д2, Д3 – давачі частоти обертання вентиляторів; Д4 – давач температури робочої рідини гідроприводу,

Ф – фільтр; ПЕМ1, ПЕМ2 – пропорційні електромагніти, встановлені на гідронасосах, ДД – дизельний двигун,

ЕБК – електронний блок керування, Л – лампа сигнальна, ОР – охолоджуюча рідина

Для зниження споживання потужності гідравлічним приводом вентиляторів необхідно зростання частоти обертання вентиляторів виконувати зі зростанням температури охолоджуючої рідини t_{op} та підтримувати постійним при змінних значеннях частоти обертання колінчастого валу дизельного двигуна у температурних діапазонах, які задані у алгоритмі роботи [19]. При цьому більшість часу роботи вентиляторної СО доцільно підтримувати частоту обертання вентиляторів у економічному режимі, який відповідає діапазону частот обертання вентиляторів 1000.. 3000 об/хв.

Для виконання оптимізації роботи двох вентиляторної СО дизельного двигуна колісного бронетранспортера проведемо аналіз експериментальних характеристик зміни параметрів силової установки: t_{op} – температура охолоджуючої рідини у алгоритмі I на виході з радіатора / у алгоритмі II на вході у термостат, $t_{op1_рад}$ – температура охолоджуючої рідини на вході у радіатори, $t_{op2_рад}$ – температура охолоджуючої рідини на виході з радіаторів, t_k – температура всмоктуємого повітря на виході компресора (вході у радіатор промозлодження), $t_{вс}$ – температура всмоктуємого повітря на виході радіатора

промохолодження та пвент – частоти обертання вентиляторів при заданні значень пдв – частоти обертання двигуна $N_{вк}$ – навантаження на ведучі колеса та температури навколишнього повітря на колісному бронетранспортері БТР-4Е.

Розглянемо результати випробувань силової установки бронетранспортера БТР-4Е при роботі дизельного двигуна на зовнішній швидкісній характеристиці та температурі навколишнього повітря 25°C та 36°C.

Режим зовнішньої швидкісної характеристики дизельного двигуна задався шляхом установлення частоти обертання колінчастого валу на рівні 2000 об/хв., включення четвертої передачі в автоматичній коробці передач та поступовим збільшенням навантаження на ведучих колесах до 270..300 к.с. (199..220 кВт).

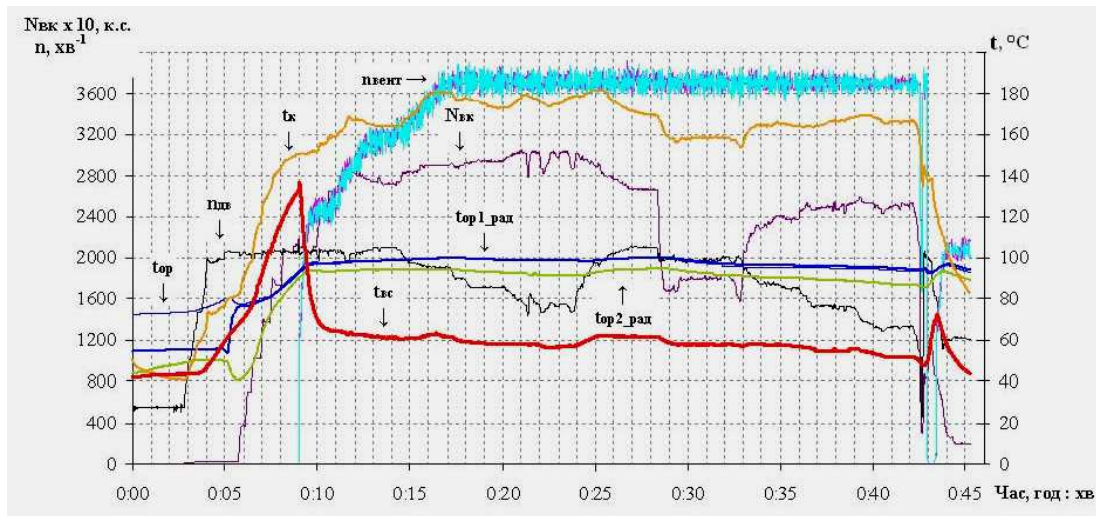


Рисунок 2 – Зміна параметрів силової установки БТР-4Е при роботі двигуна на зовнішній швидкісній характеристиці при температурі навколишнього повітря 25°C.

Значення вмикання вентиляторів 92°C було обрано з розрахунку того, що клапани термостату починають відкривати вхід для охолоджуючої рідини у радіатори охолодження при $t_{op} = 80^\circ\text{C}$ та до 95°C клапани термостату змінюють положення у напрямку збільшення відкриття входу у радіатори та прикриття малого контуру циркуляції охолоджуючої рідини. При досягненні $t_{op} = 95^\circ\text{C}$ та перевищенні цього значення вся охолоджуюча рідина проходить через радіатори, а малий контур охолодження повністю закритий.

Таким чином, аналіз показників температури охолоджуючої рідини показує, що робота вентиляторів за алгоритмом I ефективна з точки зору охолодження рідини, яка більшою кількістю проходить через радіатори та різниця значень на вході і виході у радіатори сягає до 8°C , але досягнуте значення $t_{op} = 97^\circ\text{C}$ на виході радіаторів знаходиться за межами діапазону $85..95^\circ\text{C}$, у якому дизельний двигун DEUTZ BF6M 1015CP має найкращу ефективність та економічність роботи [21]. Також гідравлічний привід роботи вентиляторів більшість часу – 29 хвилин з 33 хвилин працював у неекономічному режимі з частотою обертання вентиляторів понад 3000 об/хв. Частота обертання

На рис. 2 представлені характеристики зміни параметрів силової установки при роботі дизельного двигуна у режимі повного навантаження на зовнішній характеристиці при температурі навколишнього повітря 25°C та роботі гідравлічного приводу вентиляторної СО за алгоритмом I.

Відповідно до алгоритму I вентилятори вмикаються при $t_{op} = 92^\circ\text{C}$ на виході радіаторів та їх частота обертання встановлюється на рівні 2400 об/хв., що відповідає економічному режиму роботи. Після чого з ростом температури зростає частота обертання вентиляторів до 3700 об/хв., яка виходить за межі економічного режиму роботи. Температура охолоджуючої рідини на виході радіаторів не перевищує значення 97°C , а на вході у радіатори до $100,5^\circ\text{C}$.

вентиляторів довгий час була на рівні 3700 об/хв та не знижувалась навіть при зменшенні навантаження на колесах з 300 к.с. до 180 к.с.

Крім того, температура всмоктуваного повітря $t_{вс}$ після проходження радіатору промохолодження у період з 7-ї до 9-ї хвилини випробувань перевищувала значення 95°C та сягала до 138°C . У такому режимі роботи протягом двох хвилин дизельний двигун DEUTZ BF6M 1015CP виробляв на 4% менше потужності у порівнянні з його ефективним режимом роботи [22].

Перелічені недоліки у роботі вентиляторів за алгоритмом I призвели до необхідності його заміни на алгоритм II, у якому контроль температури t_{op} виконується на вході у термостат для зменшення часу реакції системи керування гідравлічним приводом вентиляторів на зміну робочої температури дизельного двигуна.

Відповідно до алгоритму II вентилятори вмикаються при $t_{op} = 80^\circ\text{C}$ на вході у термостат, тобто у той же момент, коли починається відкриття клапанів термостату. При цьому встановлюється частота обертання вентиляторів на рівні 1000 об/хв та підтримується протягом зростання температури t_{op} до значення 92°C . У разі перевищення t_{op} значення

92°C та подальшого її збільшення частота обертання вентиляторів спочатку буде зростати від 1000 об/хв до 2000 об/хв по лінійній залежності від t_{op} . Далі від 2000 об/хв до 5000 об/хв при досягненні $t_{op} = 102^\circ\text{C}$.

Результати випробувань силової установки при роботі вентиляторної СО за алгоритмом II в умовах температури навколишнього повітря 36°C наведені на рис.3.

Через збільшення температури навколишнього повітря до 36°C під час роботи дизельного двигуна на зовнішній швидкісній характеристиці частота обертання вентиляторів системи охолодження сягала 5000 об/хв при досягненні $t_{op} = 102^\circ\text{C}$.

У період з 6-ї до 9-ї хвилини температура вхідного повітря t_{ex} після проходження радіатора проохолодження перевищувала значення 95°C та сягала до 150°C, що також приводило до зменшення вільної потужності двигуна. Але при цьому слід

зауважити, що після включення вентиляторів на 8-й хвилині та підтримання їх частоти обертання на рівні 1000 об/хв протягом двох з половиною хвилини температура вхідного повітря t_{ex} знизилась до значення 95°C. Тому для недопущення короткочасних стрибків температури вхідного повітря необхідно ввести у систему керування гідравлічним приводом вентиляторів зворотній зв'язок за цією температурою. В результаті цього алгоритм II роботи вентиляторів був відкоригований у частині умов вмикання вентиляторів та встановлення частоти обертання 1000 об/хв. Окрім умови $t_{op} \geq 80^\circ\text{C}$, була також введена умова $t_{ex} \geq 72^\circ\text{C}$, після чого система управління гідроприводом вентиляторів продовжувала працювати за алгоритмом II.

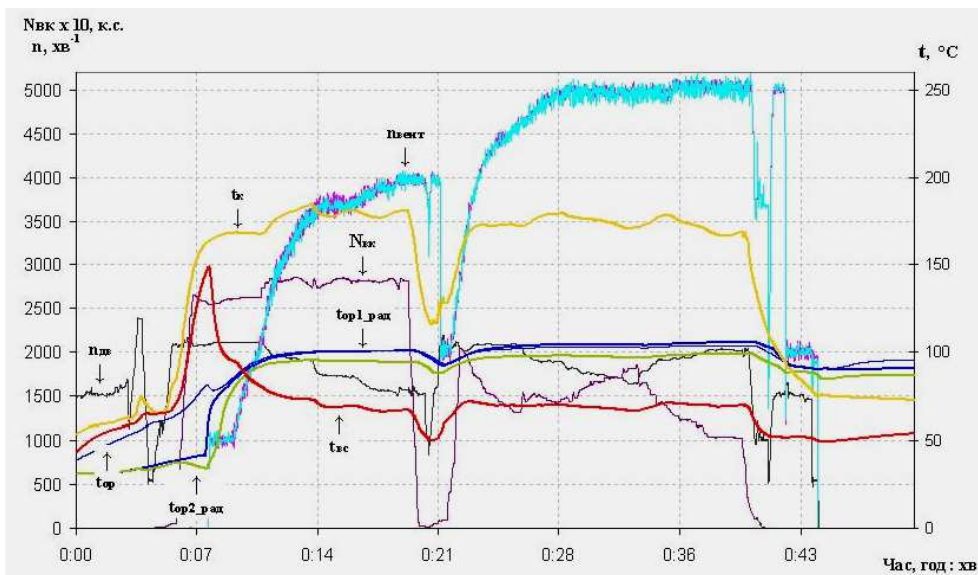


Рисунок 3 – Зміна параметрів силової установки БТР-4Е при роботі двигуна на зовнішній швидкісній характеристиці при температурі навколишнього повітря 36°C

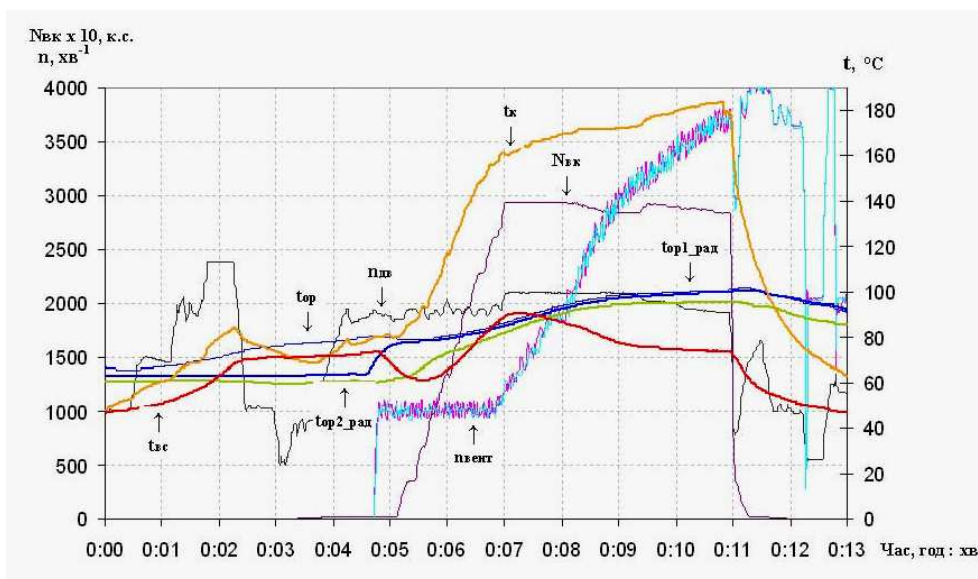


Рисунок 4 – Зміна параметрів силової установки БТР-4Е при роботі двигуна на зовнішній швидкісній характеристиці при температурі навколишнього повітря 36°C з введенням зворотного зв'язку за температурою вхідного повітря

Результати випробувань силової установки при роботі вентиляторної СО з останніми змінами алгоритму її роботи в умовах температури навколишнього повітря 36°C наведені на рис.4.

На рис. 4 видно, що завдяки включенню вентиляторів перед виведенням дизельного двигуна на зовнішню швидкісну характеристику було виключено короточасний стрибок температури вхідного повітря. Також у період часу подання навантаження на колеса протягом 5-ти хвилин (з 6-ї до 11-ї хвилини) більшість часу – 3 хвилини – вентилятори працювали у економічному режимі у діапазоні частот 1000..3000 об/хв та 2 хвилини у діапазоні частот від 3000 об/хв до 3700 об/хв. При цьому температура охолоджуючої рідини не перевищила значення 102°C. Це було досягнуто завдяки своєчасному охолодженню вхідного повітря та охолоджуючої рідини.

Висновки. Проведена оптимізація алгоритму роботи гідравлічного приводу двохвентиляторної СО дизельного двигуна на бронетранспортері БТР-4Е дозволила виключити короточасні стрибки температури вхідного повітря та збільшити час роботи вентиляторів у економічному режимі при роботі дизельного двигуна на зовнішній швидкісній характеристиці, що зменшило споживання гідравлічним приводом вентиляторів з 20% до 16,3% ефективної потужності дизельного двигуна.

Список літератури

1. Ersen Toraman. Modeling, simulation and experimental verification of a hydraulic fan drive system. A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university. – September 2013, 83 pages. <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12616474/index.pdf>
2. Parker Hannifin. Truck Hydraulics Fan Drive Systems Training. Retrieved from http://www.dhauto.com/threads/3365-Truck-Hydraulics-Fan-Drive-Systems-Training_Basic-Overview, last visited on September 2013 DOI
3. Hydraulic Fan Drive Systems. Danfoss – January 2020, 77 pages. <https://assets.danfoss.com/documents/latest/89608/AB152886482265en-000502.pdf>
4. A Breath of Fresh Air in Electro-Hydraulic Cooling Control. HYDAC. – 09.2018, 22 pages. <https://www.hydac.com/shop/en/thermal-management/cooling-systems>
5. Hydrostatic Fan Drive Systems. Haldex Hydraulics AB. – 3 pages. https://sml-group.ru/f/katalog_fandriv.pdf.
6. Setlur, P., Wagner, J., Dawson, D., & Marotta, E. (2005). An advanced engine thermal management system: Nonlinear control and test. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 10(2), 210–220. DOI
7. Shaver, G., Roelle, M., & Gerdes, J. (2006). Modeling cycle-to-cycle dynamics and mode transition in HCCI engines with variable valve actuation. *Control Engineering Practice*, 14(3), 213–222. DOI
8. Salah, M., Mitchell, T., Wagner, J., & Dawson, D. (2008). Nonlinear control strategy for advanced vehicle thermal management systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 57(1), 127–137. DOI
9. Возгрин Ю.В., В.А. Зарянов, В.А. Кузьминский, А.В. Лазурко, Мормило Я.М. Комплексное исследование зависимости эффективности теплообмена в системе охлаждения от варьирования входных величин в широком рабочем диапазоне методами конечно-элементного моделирования *Механіка та машинобудування*. 2015. №1. С 13–23.
10. Возгрин Ю.В., В.А. Зарянов, В.А. Кузьминский, А.В. Лазурко, Мормило Я.М. Сравнительная оценка эффективности теплообмена в системе охлаждения при варьировании входных величин в широком рабочем диапазоне методами конечно-элементного моделирования. *Механіка та машинобудування*. 2017. №1. С 55–63.
11. Jayesh Namjoshi. Design and Optimisation of Cooling System

- for Tracked Vehicle Powerpack. / Namjoshi Jayesh, Wagle Sachin, Kundawala Murtuza, Srivastava Manoj *Defence Science Journal*. – Vol. 67, No. 4, July 2017, pp. 390-395, DOI : 10.14429/dsj.67.11538.
12. Триньов О.В., Сівих Д.Г. Моделирование работы автоматизированной системы локального багатоконтурного охолождения деталей автотракторного дизеля. *Двигуни внутрішнього згорання*. 2021. №1. С 66–74. DOI: 10.20998/0419-8719.2021.1.09.
 13. Триньов О. В., Панчошний В. Г. Перспективы улучшения теплового stanu деталей клапанного узла дизеля с использованием локального охолождения. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПИ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Транспортне машинобудування*. 2015. № 43 (1152). С. 144–155
 14. Michael Gandrud —Meeting Tier IV Cooling Challenges with Multiple Fan Systems. *Diesel Progress North American Edition, July 2009*, pp 40-43.
 15. Савченко А.В., Шелестов М.С. Дослідження високоефективного охолоджувача наддувного повітря *Двигуни внутрішнього згорання*. 2022. № 2. С 33–40. DOI: 10.20998/0419-8719.2022.2.06.
 16. Hemanandh J., S. Ganesan, R. Devaraj, S.P. Venkatesan , Ramprakash G. (2018). Robust Design Approach for Intake Manifold of the 1 Litre Turbo Charger Intercooler Diesel Engines. *International Journal of Ambient Energy* . Vol.41. P. 1214–1226. DOI
 17. Шелестов М.С. Розвиток системи наддуву високофорсованих двигунів. *Двигатели внутреннего сгорания*. 2020. № 2. С. 20–27. DOI: 10.20998/0419-8719.2020.2.04.
 18. Жадан В.А., А.В. Нефьодов, С.В. Стрёмовський, С.В. Федоренко, Фолунін С.О. Розробка схеми керування гідравлічним приводом вентиляторної системи охолодження дизельного двигуна на колісному бронетранспортері. *Механіка та машинобудування*. 2024. № 2. С. 152–156. DOI
 19. Нефьодов А.В., Нефьодова Н.В., Стрёмовський С.В. Побудова алгоритму керування гідравлічним приводом вентиляторної системи охолодження дизельного двигуна бронетранспортера. *Механіка та машинобудування*. 2025. №1. С 163–167.
 20. OML and OMM Orbital motors. Technical Information. Sauer-Danfoss. – 02 2002, 36 pages. https://www.hynesur.com/wp-content/uploads/2022/08/Danfoss-Sauer_motores-orbitales-OML-OMM_TI.pdf
 21. *Operational manual 1015 DEUTZ*. <https://www.emsa.gen.tr/images/brochures/TECHNICAL%20DOCUMENTS/SPARE%20PARTS%20CATALOGUE/Deutz%20Spare%20Part%20Catalogue/1015.pdf>
 22. Allgemeine technische Daten General technical data. BFM1015. Page 2.013/E. Issue 05.08.03. https://ru.scribd.com/document/180202679/DEUTZ-BFM1015-DERATING-pdf?language_settings_changed=&D0%A0%D1%83%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9&utm_source=chatgpt.com

References (transliterated)

1. Ersen Toraman. Modeling, simulation and experimental verification of a hydraulic fan drive system. A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university. – September 2013, 83 pages. <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12616474/index.pdf>
2. Parker Hannifin. Truck Hydraulics Fan Drive Systems Training. Retrieved from http://www.dhauto.com/threads/3365-Truck-Hydraulics-Fan-Drive-Systems-Training_Basic-Overview, last visited on September 2013
3. Hydraulic Fan Drive Systems. Danfoss – January 2020, 77 pages. <https://assets.danfoss.com/documents/latest/89608/AB152886482265en-000502.pdf>
4. A Breath of Fresh Air in Electro-Hydraulic Cooling Control. HYDAC. – 09.2018, 22 pages. <https://www.hydac.com/shop/en/thermal-management/cooling-systems>
5. Hydrostatic Fan Drive Systems. Haldex Hydraulics AB. – 3 pages. https://sml-group.ru/f/katalog_fandriv.pdf.
6. Setlur, P., Wagner, J., Dawson, D., & Marotta, E. (2005). An advanced engine thermal management system: Nonlinear control and test. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 10(2), 210–220.
7. Shaver, G., Roelle, M., & Gerdes, J. (2006). Modeling cycle-to-cycle dynamics and mode transition in HCCI engines with

- variable valve actuation. *Control Engineering Practice*, 14(3), 213–222.
8. Salah, M., Mitchell, T., Wagner, J., & Dawson, D. (2008). Nonlinear control strategy for advanced vehicle thermal management systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 57(1), 127–137.
 9. Vozgrin Yu.V., V.A. Zaryanov, V.A. Kuzminskij, A.V. Lazurko, Mormilo Ya.M. (2015). Kompleksnoe issledovanie zavisimosti effektivnosti teploobmena v sisteme ohlazhdeniya ot varirovaniya vhodnyh velichin v shirokom rabochem diapazone metodami konechnoelementnogo modelirovaniya. *Mehanika ta mashinobuduvannya*, no. 1, pp. 13–23.
 10. Vozgrin Yu.V., V.A. Zaryanov, V.A. Kuzminskij, A.V. Lazurko, Mormilo Ya.M. (2017). Sravnitel'naya ocenka effektivnosti teploobmena v sisteme ohlazhdeniya pri varirovanih vhodnyh velichin v shirokom rabochem diapazone metodami konechnoelementnogo modelirovaniya. *Mehanika ta mashinobuduvannya*, no.1, pp. 55–63.
 11. Jayesh Namjoshi, Wagle Sachin, Kundawala Murtuza, Manoj Srivastava (2017). Design and Optimisation of Cooling System for Tracked Vehicle Powerpack. *Defence Science Journal*. – Vol. 67, No. 4, July 2017, pp. 390-395, DOI : 10.14429/dsj.67.11538.
 12. Trinov O.V., Sivih D.G. (2021). Modelyuvannya roboti avtomatizovanoyi sistemi lokalnogo bagatokonturnogo oholodzhennya detalej avtotraktornogo dizelya. *Dviguni vnutrishnogo zgoryannya*, no.1, pp. 66–74. DOI: 10.20998/0419-8719.2021.1.09.
 13. Trinov O. V., Panchoshnij V. G. (2015). Perspektivi polipshennya teplovogo stanu detalej klapannogo vuzla dizelya z vikoristannyam lokalnogo oholodzhennya. *Visnik Nac. tehn. un-tu "KhPI" : zb. nauk. pr. Temat. vip. : Transportne mashinobuduvannya*, no. 43 (1152), pp. 144–155.
 14. Michael Gandrud —Meeting Tier IV Cooling Challenges with Multiple Fan Systems. *Diesel Progress North American Edition, July 2009*, pp 40-43.
 15. Savchenko A.V., Shelestov M.S. (2022). Doslidzhennya visokoefektivnogo oholodzhuvacha naduvnogo povitrya / A.V. Savchenko, // Dviguni vnutrishnogo zgoryannya, no. 2, pp. 33–40. DOI: 10.20998/0419-8719.2022.2.06.
 16. Hemanandh J., S. Ganesan, R. Devaraj, S.P. Venkatesan, Ramprakash G. (2018). Robust Design Approach for Intake Manifold of the 1 Litre Turbo Charger Intercooler Diesel Engines. *International Journal of Ambient Energy*, vol.41, pp. 1214-1226.
 17. Shelestov M.S. (2020). Rozvitok sistemi nadduvu visokoforsovanih dviguniv. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*, no. 2, pp. 20–27. DOI: 10.20998/0419-8719.2020.2.04.
 18. Zhadan V.A., A.V. Nefodov, S.V. Strimovskij, Ye.V. Fedorenko, Folunin S.O. (2024). Rozrobka shemi keruvannya gidravlichnim privodom ventilyatornoyi sistemi oholodzhennya dizelnogo dviguna na kolisnomu bronetransporteri. *Mehanika ta mashinobuduvannya*, no.2, pp. 152–156.
 19. Nefodov A.V. N.V. Nefodova, Strimovskij S.V. (2025). Pobudova algoritmu keruvannya gidravlichnim privodom ventilyatornoyi sistemi oholodzhennya dizelnogo dviguna bronetransportera. *Mehanika ta mashinobuduvannya*, no.1, pp. 163–167.
 20. *OML and OMM Orbital motors*. Technical Information. Sauer-Danfoss. – 02 2002, 36 pages. https://www.hynesur.com/wp-content/uploads/2022/08/Danfoss-Sauer_motors-orbitales_OML-OMM_TL.pdf
 21. *Operational manual 1015 DEUTZ*. <https://www.emsa.gen.tr/images/brochures/TECHNICAL%20DOCUMENTS/SPARE%20PARTS%20CATALOGUE/Deutz%20Spare%20Part%20Catalogue/1015.pdf>
 22. *Allgemeine technische Daten General technical data*. BFM1015. Page 2.013/E. Issue 05.08.03. https://ru.scribd.com/document/180202679/DEUTZ-BFM1015-DERATING-pdf?language_settings_changed=%D0%A0%D1%83%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9&utm_source=chatgpt.com

Надійшла (received) 29.03.2026
Стаття прийнята до друку 20.04.2026
Опублікована 28.04.2026

Відомості про авторів / About the Authors

Стрїмовський Сергій Вікторович / Sergii Strimovskiy – кандидат технічних наук, начальник організаційно-аналітичного сектору, Державне підприємство «Харківське конструкторське бюро з машинобудування ім. О.О. Морозова»; м. Харків, Україна; e-mail: serhii.strimovskiy@morozov.com.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8560-414X>