УДК 621.43:004.67:629.3
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-22

Дуганець В. І.
доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *duganec.viktor@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-3383-5907.*

Говоров О. Ф.
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
доцент кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *Aleksandr_Govorov@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-1645-1725*

Пукас В. Л.
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *pukasvital@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-0083-7359*

КОМПЛЕКСНА ДІАГНОСТИКА ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ТА ГІДРАВЛІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ: СУЧАСНИЙ СТАН, ІНФОРМАТИВНІ ПОКАЗНИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Анотація

У статті узагальнено сучасні наукові підходи до комплексної діагностики дизельних двигунів у процесі експлуатації на основі аналізу теплотехнічних, гідравлічних, електронних та експлуатаційних параметрів. Проведено аналіз інформативності температурних і гідравлічних показників, що характеризують технічний стан систем охолодження, мащення, паливоподачі та повітропостачання сучасних дизельних двигунів. Показано, що окремий контроль параметрів не забезпечує повної оцінки технічного стану силового агрегату, тоді як їх комплексний аналіз дає змогу підвищити достовірність діагностування, своєчасно виявляти початкові ознаки несправностей і приймати обґрунтовані рішення щодо технічного обслуговування.

На основі аналізу сучасних наукових публікацій обґрунтовано концептуальний підхід до інтегрованого оцінювання технічного стану дизельних двигунів, який передбачає об'єднання різнорідних діагностичних параметрів у єдину інформаційну систему. Як приклад практичного застосування концепції розглянуто дизельний двигун Cummins ISF 3.8 потужністю 105 кВт, оснащений електронною системою керування та паливною системою Common Rail.

Показано можливість використання інформації від штатних датчиків двигуна як основи для реалізації комплексного моніторингу технічного стану з можливим доповненням даними спеціалізованих засобів вимірювання.

Визначено перспективні напрями розвитку комплексної діагностики дизельних двигунів, пов'язані із застосуванням цифрових двійників, телематичних технологій, методів машинного навчання та систем прогнозного технічного обслуговування. Запропонований підхід може бути використаний як науково-методична основа для подальшого розвитку інформаційно-аналітичних систем моніторингу технічного стану сучасних дизельних двигунів.

Ключові слова: *дизельний двигун, комплексна діагностика, теплотехнічні параметри, гідравлічні параметри, технічний стан, експлуатація, система охолодження, система мащення.*

Вступ. Дизельні двигуни широко застосовуються в транспортній, сільськогосподарській, будівельній та енергетичній техніці завдяки високій паливній економічності, надійності та значному моторесурсу. Підвищення вимог до екологічності й ефективності експлуатації зумовило впровадження електронних систем керування, паливної апаратури високого тиску, турбонаддуву та сучасних систем очищення відпрацьованих газів, що істотно ускладнило конструкцію двигунів [4; 6].

© Дуганець В. І., Говоров О. Ф., Пукас В. Л., 2026 pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Традиційні методи діагностики, засновані на контролі окремих параметрів або кодів несправностей електронного блока керування, не завжди забезпечують своєчасне виявлення початкових дефектів, пов'язаних зі зміною теплового режиму та гідравлічних характеристик систем двигуна [3; 7; 9].

Перспективним напрямом є комплексна діагностика, що поєднує аналіз теплотехнічних, гідравлічних та експлуатаційних параметрів. Такий підхід підвищує достовірність оцінювання технічного стану, забезпечує раннє виявлення несправностей і створює передумови для технічного обслуговування за фактичним технічним станом. Він також є основою розвитку сучасних систем експлуатаційного моніторингу дизельних двигунів.

Метою дослідження є узагальнення сучасних підходів до комплексної діагностики теплотехнічних і гідравлічних параметрів дизельних двигунів, визначення найбільш інформативних діагностичних показників та обґрунтування концепції інтегрованого оцінювання технічного стану силових установок.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сучасний стан комплексної діагностики дизельних двигунів

Розвиток сучасних дизельних двигунів супроводжується впровадженням електронного керування, паливних систем високого тиску, турбонаддуву та засобів зниження токсичності відпрацьованих газів. Це підвищує ефективність силових установок, але одночасно ускладнює оцінювання їх технічного стану під час експлуатації.

Традиційні методи діагностики, засновані на контролі окремих параметрів або кодів несправностей електронного блока керування, здебільшого дозволяють виявляти вже сформовані дефекти. Водночас ранні стадії зношування, порушення теплообміну та зміни гідравлічних характеристик часто залишаються непоміченими [3; 7; 9].

Сучасні дослідження орієнтовані на комплексний аналіз теплотехнічних, гідравлічних та експлуатаційних параметрів із використанням інформації штатних датчиків і математичних моделей. Такий підхід забезпечує більш достовірне оцінювання технічного стану двигуна, враховує взаємозв'язок між його системами та створює передумови для прогнозування розвитку несправностей [1; 2; 3; 7; 8; 10].

Попри активний розвиток цифрових технологій, більшість існуючих методик залишається орієнтованою на окремі системи двигуна. Тому актуальним напрямом є створення інтегрованих моделей, що об'єднують теплотехнічні, гідравлічні та експлуатаційні показники в єдину систему комплексної діагностики.

Інформативність теплотехнічних і гідравлічних параметрів у комплексній діагностиці дизельних двигунів

Ефективність комплексної діагностики дизельних двигунів значною мірою визначається інформативністю контрольованих параметрів, які характеризують перебіг теплових і гідравлічних процесів. Найбільш вагомими є температура охолоджувальної рідини, моторної оливи та відпрацьованих газів, а також тиск у системах мащення, паливоподачі й наддуву [1; 3; 7]. Узагальнену характеристику цих параметрів, їх діагностичне значення та можливі несправності наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Діагностична інформативність основних теплотехнічних параметрів дизельного двигуна

Параметр	Контрольована система	Можливі причини відхилень	Діагностична цінність
Температура охолоджувальної рідини	Система охолодження	Несправність термостата, насоса, радіатора	Висока
Температура моторної оливи	Система мащення	Перегрів, деградація оливи, недостатнє мащення	Висока
Температура повітря на впуску	Система наддуву	Забруднення інтеркулера, несправність турбокомпресора	Середня
Температура відпрацьованих газів	Процес згоряння	Несправність форсунок, турбіни, ГРМ	Дуже висока

Температура охолоджувальної рідини характеризує ефективність роботи системи охолодження та стабільність теплового режиму двигуна. Її відхилення від нормативних значень можуть свідчити про несправність термостата, водяного насоса, радіатора або засмічення каналів охолодження [4; 6; 10]. Температура моторної оливи відображає інтенсивність тепловідведення й умови мащення деталей, а її підвищення прискорює старіння оливи та погіршує умови тертя [6; 8].

Температура відпрацьованих газів є індикатором ефективності процесу згоряння палива. Зміна цього параметра може бути пов'язана з несправністю паливної апаратури, форсунок, турбокомпресора або газорозподільного механізму. Аналіз температур окремих циліндрів дозволяє своєчасно виявляти нерівномірність роботи двигуна [1; 2; 7].

Важливими діагностичними показниками є також параметри тиску. Зниження тиску моторної оливи свідчить про зношування підшипників, несправність масляного насоса або засмічення фільтра. Контроль тиску в паливній рампі дозволяє оцінити працездатність системи Common Rail, а тиск наддуву характеризує ефективність роботи турбокомпресора та герметичність впускного тракту [1; 3; 7; 9].

Систематизацію основних теплотехнічних і гідравлічних параметрів за контрольованими системами двигуна та їх діагностичним призначенням наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Діагностична інформативність основних гідравлічних параметрів дизельного двигуна

Параметр	Контрольована система	Можливі причини відхилень	Діагностична цінність
Тиск моторної оливи	Система мащення	Зношування насоса, збільшення зазорів, деградація оливи, засмічення фільтра	Дуже висока
Тиск у паливній рампі Common Rail	Паливна система	Несправність ПНВТ, форсунок, регулятора тиску, паливного фільтра	Дуже висока
Тиск наддувного повітря	Система турбонаддуву	Зношування турбокомпресора, витоки повітря, несправність системи керування	Висока
Гідравлічні характеристики системи охолодження (витрата, перепад тиску)*	Система охолодження	Зношування водяного насоса, засмічення каналів, несправність термостата	Висока (переважно в дослідницьких умовах)

Примітка: * – у більшості серійних транспортних двигунів ці параметри безпосередньо не контролюються штатною системою керування, однак можуть бути визначені під час спеціалізованих випробувань або за допомогою додаткових засобів вимірювання.

Інтегроване оцінювання технічного стану дизельного двигуна та практична реалізація на прикладі Cummins ISF 3.8

Комплексне оцінювання технічного стану дизельного двигуна ґрунтується на одночасному аналізі теплотехнічних, гідравлічних, електронних та експлуатаційних параметрів. На відміну від традиційного контролю окремих показників, інтегрований підхід враховує взаємозв'язки між основними системами двигуна, що підвищує достовірність діагностичних висновків [1; 3; 7].

Запропонована концепція передбачає чотири послідовні етапи: збір даних від штатних і додаткових датчиків, їх попередню обробку та нормалізацію, комплексний аналіз взаємопов'язаних параметрів і формування інтегральної оцінки технічного стану. Такий алгоритм забезпечує своєчасне виявлення відхилень робочих параметрів і визначення можливих причин їх виникнення.

Для узагальнення результатів використовується інтегральний показник технічного стану, сформований на основі нормованих значень контрольованих параметрів з урахуванням їх діагностичної значущості. Це забезпечує кількісне оцінювання працездатності двигуна та створює основу для автоматизованого прийняття рішень щодо технічного обслуговування [7; 9].

$$I_{TS} = \sum_{i=1} w_i I_i, \quad \sum_{i=1} w_i = 1,$$

де I_{TS} – інтегральний показник технічного стану двигуна; I_i – нормоване значення окремого діагностичного параметра або групи параметрів; w_i – ваговий коефіцієнт, що характеризує відносну інформативність відповідного показника.

Практичну реалізацію запропонованого підходу розглянуто на прикладі дизельного двигуна Cummins ISF 3.8 потужністю 105 кВт, оснащеного паливною системою Common Rail, турбонаддувом із проміжним охолодженням повітря та електронною системою керування, що забезпечує контроль основних експлуатаційних параметрів у режимі реального часу [4; 6].

Такий алгоритм комплексного оцінювання технічного стану дизельного двигуна, що передбачає послідовне отримання, нормування та інтегроване аналізування теплотехнічних і гідравлічних параметрів, представлено у вигляді концептуальної схеми (рис. 1).

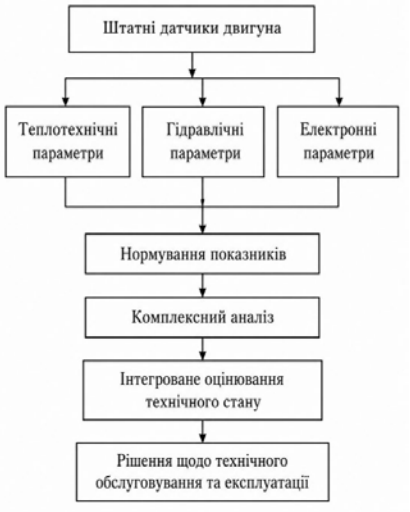


Рис. 1. Концептуальна схема інтегрованого оцінювання технічного стану дизельного двигуна

Під час експлуатації найбільш інформативними є температура охолоджувальної рідини, моторної оливи та відпрацьованих газів, а також тиск оливи, палива і наддуву. Їх комплексний аналіз дозволяє своєчасно виявляти

порушення роботи систем охолодження, мащення, паливоподачі й турбонаддуву та оцінювати загальний технічний стан двигуна без його розбирання.

Запропонований підхід може бути реалізований у складі бортових систем моніторингу або сервісних діагностичних комплексів, сприяючи підвищенню експлуатаційної надійності двигуна, зниженню витрат на технічне обслуговування та переходу до прогнозного керування технічним станом.

Висновки. Проведений аналіз сучасних підходів до діагностики дизельних двигунів підтвердив доцільність комплексного оцінювання теплотехнічних та гідравлічних параметрів для підвищення достовірності визначення технічного стану силових установок. Встановлено, що інтегрований аналіз взаємопов'язаних параметрів забезпечує більш об'єктивне діагностування порівняно з контролем окремих показників.

Узагальнено найбільш інформативні теплотехнічні та гідравлічні параметри, що характеризують роботу систем охолодження, мащення, паливоподачі та наддуву. Запропоновано концепцію інтегрованого оцінювання технічного стану, яка об'єднує дані штатних засобів контролю, математичних моделей і алгоритмів комплексної обробки інформації. Практичне застосування підходу на прикладі дизельного двигуна Cummins ISF 3.8 підтверджує перспективність його використання для створення сучасних систем експлуатаційного моніторингу.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення математичних моделей інтегрального оцінювання технічного стану, використання методів машинного навчання та експериментальну перевірку запропонованого підходу на дизельних двигунах різних типів в експлуатаційних умовах.

Список використаних джерел

1. Варбанець Р., Мінчев Д., Кучеренко Ю., Залож В. Параметрична діагностика суднових дизельних двигунів в режимі реального часу. *Двигуни внутрішнього згоряння.* 2024. № 1. С. 69–82. DOI: https://doi.org/10.20998/0419-8719.2024.1.09.

2. Єриганов О., Гунченко В., Глєбов В. Визначення геометричних розмірів деталей кривошипно-шатунного механізму за результатами індиціювання. *Розвиток транспорту.* 2024. № 2(21). С. 28–34. DOI: https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.03.

3. Єриганов О. В. Автоматизовані системи діагностики суднових двигунів у реальному часі. *Вісник Херсонського національного технічного університету.* 2025. Т. 1, № 4(95). С. 121–126. DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.1.16.

4. Захарчук В. І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів : навч. посіб. Київ : Каравела, 2022. 232 с.

5. Корбак С. І., Розум Р. І. Двигуни: минуле і сьогодення. Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика : матеріали III Міжнародної наукової інтернет-конференції (м. Київ, 20–22 жовтня 2021 р.). Київ : НУБіП України, 2021. С. 336.

6. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : Видавець Торубара В. В., 2018. 152 с.

7. Розум Р. І., Буряк М. В., Захарчук О. П., Попович П. В., Прогній П. Б. Методологія діагностування автомобільних дизельних двигунів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022. № 1(18). С. 138–142. DOI: https://doi.org/10.36910/automash.v1i18.770.

8. Сагін С., Бондар С., Столярик Т. Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення. *Водний транспорт.* 2023. № 1(37). С. 59–70. DOI: https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.

9. Тільняк Ю. Я., Корнага Я. І. Реалізація гібридних алгоритмів контролю в діагностиці двигуна внутрішнього згоряння з використанням сучасних бортових обчислювальних пристроїв. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* 2018. Т. 29(68), № 2. С. 186–191.

10. Duhanets V., Hovorov O., Pukas V. Analysis and optimisation of internal combustion engine cooling systems to improve thermal efficiency and operational reliability. *Machinery & Energetics.* 2026. Vol. 17, No. 2. P. 7–21. DOI: https://doi.org/10.31548/machinery/2.2026.1.

Duhanets V. I.
Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Tractors, Automobiles and Power Engineering,
Higher Education Institution "Podillia State University",
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *duganec.viktor@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-3383-5907*

Hovorov O. F.
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Associate Professor at the Department of Tractors, Automobiles and Power Engineering,
Higher Education Institution "Podillia State University",
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *Aleksandr_Govorov@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-1645-1725*

Pukas V. L.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Tractors, Automobiles and Power Engineering,
Higher Education Institution "Podillia State University",
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *pukasvital@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-0083-7359*

COMPREHENSIVE DIAGNOSTICS OF THERMAL AND HYDRAULIC PARAMETERS OF DIESEL ENGINES DURING OPERATION: CURRENT STATE, INFORMATIVE INDICATORS, AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Abstract

The article summarizes current scientific approaches to the integrated diagnostics of diesel engines during operation based on the analysis of thermotechnical, hydraulic, electronic, and operational parameters. The informativeness of temperature and hydraulic indicators characterizing the technical condition of the cooling, lubrication, fuel supply, and air intake systems of modern diesel engines is analyzed. It is demonstrated that monitoring individual parameters alone does not provide a comprehensive assessment of the engine's technical condition, whereas their integrated analysis significantly improves diagnostic reliability, enables the early detection of incipient faults, and supports informed maintenance decision-making.

Based on a review of recent scientific publications, a conceptual approach to the integrated assessment of the technical condition of diesel engines is substantiated. The proposed approach involves combining heterogeneous diagnostic parameters into a unified information system. As an example of the practical implementation of this concept, the Cummins ISF 3.8 diesel engine with a rated power of 105 kW, equipped with an electronic engine management system and a Common Rail fuel injection system, is considered. It is shown that information obtained from the engine's standard sensors can be effectively used to implement comprehensive condition monitoring without the need for additional measuring equipment.

Prospective directions for the development of integrated diesel engine diagnostics are identified, including the application of digital twins, telematics technologies, machine learning methods, and predictive maintenance systems. The proposed approach can serve as a scientific and methodological basis for the further development of information and analytical systems for monitoring the technical condition of modern diesel engines.

Key words: *diesel engine, integrated diagnostics, thermotechnical parameters, hydraulic parameters, technical condition, operation, cooling system, lubrication system, Common Rail.*

References

1. Varbanets, R., Minchev, D., Kucherenko, Yu., & Zalozh, V. (2024). Parametrychna diahnostyka sudnovykh dyzelnykh dvyhuniv v rezhymi realnoho chasu [Parametric diagnostics of marine diesel engines in real time]. *Dvyhuny vnutrishnoho zghoriannia – Internal Combustion Engines,* (1), 69–82. https://doi.org/10.20998/0419-8719.2024.1.09 [in Ukrainian].

2. Yeryhanov, O., Hunchenko, V., & Hliebov, V. (2024). Vyznachennia heometrychnykh rozmiriv detalei kryvoshypnoshatunnoho mekhanizmu za rezultatamy indytsiiuvannia [Determination of geometric dimensions of crank-and-connecting-rod mechanism parts based on indicator diagram analysis]. *Rozvytok transportu – Transport Development,* 2(21), 28–34. https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.03 [in Ukrainian].

3. Yeryhanov, O. V. (2025). Avtomatyzovani systemy diahnostyky sudnovykh dvyhuniv u realnomu chasi [Automated real-time diagnostic systems for marine diesel engines]. Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu – *Bulletin of Kherson National Technical University,* 1(4(95)), 121–126. https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.1.16 [in Ukrainian].

4. Zakharchuk, V. I. (2022). *Osnovy teorii ta konstruktsii avtomobilnykh dvyhuniv [Fundamentals of the theory and design of automobile engines].* Karavela. [in Ukrainian].

5. Korbak, S. I., & Rozum, R. I. (2021). Dvyhuny: mynule i sohodennia [Engines: Past and present]. In *Tendentsii ta vyklyky suchasnoi ahrarnoi nauky: teoriia i praktyka: materialy III Mizhnarodnoi naukovoi internet-konferentsii* (Kyiv, October 20–22, 2021) [Trends and challenges of modern agricultural science: Theory and practice: Proceedings of the Third International Scientific Internet Conference] (p. 336). Kyiv: NUBiP Ukrainy. [in Ukrainian].

6. Mytrofanov, O. S., & Proskurin, A. Yu. (2018). *Osnovy ekspluatatsii, obsluhovuvannia ta remontu dvyhuniv vnutrishnoho zghoriannia [Fundamentals of operation, maintenance and repair of internal combustion engines]. Vydavets Torubara V. V. [in Ukrainian].*

7. Rozum, R. I., Buriak, M. V., Zakharchuk, O. P., Popovych, P. V., & Prohnii, P. B. (2022). Metodolohiia diahnostuvannia avtomobilnykh dyzelnykh dvyhuniv [Methodology for diagnostics of automotive diesel engines]. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti – Modern Technologies in Mechanical Engineering and Transport,* 1(18), 138–142. https://doi.org/10.36910/automash.v1i18.770. [in Ukrainian].

8. Sahin, S., Bondar, S., & Stoliaryk, T. (2023). Otsinka bezvidmovnosti sudnovykh dyzeliv za tekhnichnym stanom motornoho mastyla tsyrkuliatsiinykh system mashchennia [Assessment of marine diesel engine reliability based on the technical condition of lubricating oil in circulating lubrication systems]. *Vodnyi transport – Water Transport,* 1(37), 59–70. https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06 [in Ukrainian].

9. Tilniak, Yu. Ya., & Kornaha, Ya. I. (2018). Realizatsiia hibrydnykh alhorytmiv kontroliu v diahnostytsi dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia z vykorystanniam suchasnykh bortovykh obchysliuvalnykh prystroiv [Implementation of hybrid control algorithms in internal combustion engine diagnostics using modern onboard computing devices]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Seriia: Tekhnichni nauky – Scientific Notes of V. I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences,* 29(68), 2, 186–191. [in Ukrainian].

10. Duhanets, V., Hovorov, O., & Pukas, V. (2026). Analysis and optimisation of internal combustion engine cooling systems to improve thermal efficiency and operational reliability. *Machinery & Energetics,* 17(2), 7–21. https://doi.org/10.31548/machinery/2.2026.1 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 04.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 07.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026