

274 АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.113.004.67

DOI: 10.31498/2225-6733.52.2025.351134

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ
АВТОТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛІВ І РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ
ПАЛИВНОГО НАСОСУ ВИСОКОГО ТИСКУ**

Худяков І.В.	канд. техн. наук, доцент, Херсонська державна морська академія, м. Херсон; Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8900-7879 , e-mail: igor.khudiakov563@gmail.com ;
Грицук І.В.	д-р техн. наук, професор, Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7065-6820 , e-mail: grytsuk_iv@ukr.net ;
Погорлецький Д.С.	канд. техн. наук, доцент, Херсонська державна морська академія, м. Херсон; Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1256-8053 , e-mail: dimon150582@gmail.com ;
Дзигар А.К.	ст. викладач, Херсонська державна морська академія, м. Херсон, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5947-6263 , e-mail: anatoliidzygar@gmail.com ;
Аксьонова О.О.	асистент, Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9768-9542 , e-mail: aksonova@stu.cn.ua

У сільському господарстві питання підвищення ефективності експлуатації двигунів внутрішнього згоряння, зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт паливної апаратури удосконаленням методів та засобів їх діагностування є актуальним через старіння парку рухомого складу сільського господарства та нестачу інвестицій. Аналіз відомих систем, які використовуються на теперішній час, а також двигунів автотранспортних засобів на дизельному паливі, показав, що однією з найбільш поширених систем є система розділеного типу з багатоплунжерним паливним насосом високого тиску. Діагностування таких систем трудомісткі та не мають достатньої точності. Математичні моделі, які описують роботу паливних насосів високого тиску, мають велику кількість параметрів, які впливають на динамічні зміни показників тиску дизельного палива. Аналіз матеріалів опублікованих статей показав недостатність інформації щодо питань кількісного впливу показників та функцій чутливості зміни параметрів будь якої математичної моделі на результати моделювання, недостатньо рекомендацій щодо динаміки зміни ступеня чутливості та використання у системі значень кожного з параметрів. Підвищення якості діагностики паливної апаратури дизельного двигуна неможливо при використанні тільки одного методу діагностування. Однією з задач є зниження частки помилкового діагностування, а також покращення економічних показників під час експлуатації мобільної техніки сільськогосподарського призначення, його ремонту та технічного обслуговування. Метою даної роботи є розробка математичної моделі паливного насоса високого тиску на основі аналізу сучасних методів діагностування паливної апаратури автотракторних дизелів. Таким чином, розроблені на основі аналізу сучасних методів діагностування модель та схема є орієнтиром для проектування та розрахунку паливного насоса високого тиску. Як результат, маємо зниження помилкових висновків під час діагностики та зниження витрат, які забезпечують працездатність парку рухомого складу сільського господарства за рахунок правильного технічного обслуговування і ремонту.

Ключові слова: методи діагностування, паливна апаратура автотракторних дизелів, математична модель паливного насоса високого тиску, зниження витрат на технічне обладнання.

Постановка проблеми

Економічні показники, що характеризують кількість витрат, що забезпечують працездатність парку рухомого складу сільського господарства, перевищують вартість нових, у процентному значенні – 20...25 % собівартості експлуатації, до 40% з яких займає частка технічного обслуговування (ТО) і ремонту (Р). Тому повне і своєчасне задоволення потреб агропромислового комплексу країни в сільськогосподарській техніці має вирішуватися в тому числі і шляхом підвищення ефективності експлуатації рухомого

складу, причому проблема повинна розглядатися комплексно з обґрунтуванням стратегій ТО і Р, у взаємозв'язку з програмами ТО і Р [1-3].

Для вирішення цього питання потрібно не тільки забезпечити агропромисловий комплекс (АПК) сільськогосподарською технікою з високими показниками надійності та технологічності, а й мати сервісні служби, які удосконалюють методи технічної експлуатації та проведення ТО і Р [4].

Збільшуються витрати на підтримку працездатності мобільної техніки, значна частина яких припадає на технічні обслуговування та ремонт паливної апаратури

дизелів [5, 6]. У зв'язку з цим, діагностування паливної апаратури автотракторних дизелів для підтримки в технічно справному стані парку мобільної сільськогосподарської техніки є актуальним завданням [1, 4, 7-8].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питання вдосконалення алгоритмів технічного діагностування паливної апаратури автотракторних дизелів та їх інтеграції з системами управління дизелем недостатньо досліджено. Вдосконалення діагностування сучасних конструкцій паливної апаратури (ПА) автотракторних дизелів здійснюється збільшенням кількості параметрів, що діагностуються. Істотна частина автотракторної техніки має термін експлуатації понад 7 років та оснащена розділеною системою подачі палива з механічним багатоплунжерним паливним насосом високого тиску (ПНВТ).

За даними дослідників ПА, в сучасних умовах експлуатації на один дизель автотракторного засобу припадає від 2 до 3 тонн перевитраченого палива на рік, з одночасним збільшенням викидів в атмосферу шкідливих компонентів на 100-150 кг та 30-50 кг – СН [9, 10]. Крім того, несправність ПА призводить до зниження пускових, тягових, економічних та екологічних властивостей дизеля.

Своєчасне діагностування парку рухомого складу

сільського господарства, виявлення поломок та несправностей дає можливість знизити кількість відмов, в наслідок чого скоротити витрати на їх обслуговування [11]. Методи діагностування паливної апаратури дизелів, що набули поширення [9], потребують зняття вузла з двигуна з розборкою та регулюванням. Також розробляються нерозбірні методи діагностування елементів системи живлення автотракторних дизелів, досліджених недостатньо глибоко [5, 6]. Відомі методи діагностування дизельної ПА можна розбити на групи: діагностування за показниками роботи двигуна; діагностування за характеристиками роботи ПА; діагностування за параметрами ПА [9].

Найбільш поширеним з представлених є перший метод діагностування, що використовує основні показники роботи дизельного двигуна. При його застосуванні діагностика проводиться по непрямим ознакам, що потребує високої кваліфікації механіка-діагноста та не виключає помилкового діагнозу. Ознаки порушення роботи автотракторного дизеля ПА при діагностуванні даним методом представлені в таблиці 1.

Також поширені такі методи, як інструментальний контроль техніко-економічних показників дизельного двигуна, одним з найактуальніших є безгальмівний метод професора Ждановського Н.С., метод визначення потужності дизельного двигуна в залежності від пробіга та парціальний метод [9].

Таблиця 1

Ознаки порушення роботи ПА дизельного двигуна та необхідні технічні впливи

Зовнішні ознаки (симптоми) порушення нормальної роботи	Структурні зміни взаємодіючих елементів
Двигун працює нестійко Запуск двигуна утруднений	Паливна система не герметична
Двигун глухне чи не розвиває достатньої потужності	Фільтруючі елементи паливних фільтрів засмічені
Двигун глухне, не розвиває достатньої частоти обертання колінчастого вала	Відмова у роботі паливного насоса
Двигун працює нерівномірно і не розвиває потужності	Засмічення фільтрів форсунок
Двигун не розвиває необхідної потужності, димний випуск	Закоксовування продувних вікон гільзи циліндрів
Утруднений пуск та нерівномірна робота двигуна	Порушення нормальної роботи форсунок
Нерівномірна та «жорстка» робота двигуна, випуск чорного кольору	Порушення кута випередження упорскування палива
Нерівномірна робота двигуна зі стуками та димним випуском	Порушення регулювання рейок паливного насоса
Двигун надмірно збільшує частоту обертання, йде «вразнос»	Порушення роботи регулятора
Двигун не розвиває потужності, очищувач повітря темне масло	Забруднення очищувача повітря

Сутність парціального та безгальмівного методів полягає у відключенні частини циліндрів працюючого дизеля, що забезпечує сприйняття працюючими циліндрами додаткового навантаження, що виникає від механічних втрат, що виробляються у відключених циліндрах. В даному випадку потужність циліндра, що діагностується, визначається за кількістю оборотів двигуна. Одночасно контролюється витрата палива робочими циліндрами.

Мета статті

Метою даної роботи є розробка математичної моделі паливного насоса високого тиску на основі аналізу сучасних методів діагностування паливної апаратури автотракторних дизелів.

Виклад основного матеріалу

Для діагностування ПА інструментальними методами використовується декілька алгоритмів оцінки відмов працездатності системи дизеля за наступним математичним виразом:

$$|Y_i(t) - Y_{ier}(t)| \leq \Delta_{idop}, \quad (1)$$

де $Y_i(t)$ і $Y_{ier}(t)$, відповідно, вихідні змінні i -тої підсистеми контролю та еталонної діагностичної моделі; Δ_{idop} – допустима величина неузгодженості.

Даний алгоритм обробки даних використовується при роботі дизеля на статичних режимах. В силу малого розкиду значень контрольованих змінних у статичному режимі роботи дизеля, за ними обчислюються статистичні оцінки, значення яких порівнюються з еталонними в базі даних, сформованій експертом.

Для діагностування циліндрів дизельного двигуна під час роботи, які працюють нерівномірно, використовується такий метод, як ідентифікація. Це пов'язано з причиною нерівномірності, яка не обов'язково є наслідком роботи ПА. Також може впливати технічний стан самого двигуна. У алгоритмі теоретичного обґрунтування параметрів діагностування використані вже відомі характеристики динамічного розрахунку дизельного двигуна [7]. Особливості цього алгоритму наведені як функціональна схема (Рис. 1).

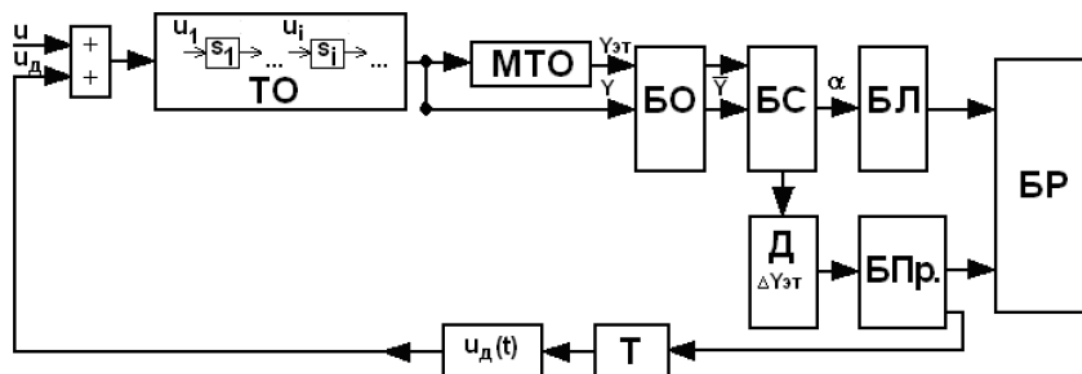


Рис. 1 – Функціональна схема алгоритму методу ідентифікації при діагностиці дизеля: u – керуючі дії; ТО – технічний об'єкт діагностування, дизель; МТО – пряма модель технічного об'єкта, дизеля як об'єкта діагностування; БО – блок первинної обробки; БС – блок судження; Д – блок нормативних допусків; БЛ – блок логіки; БПр – Блок прогнозування; БР – блок реєстрації результатів діагностування; Т – таймер; u_d – зондуєчий сигнал для тестування

Математичні моделі, які описують роботу паливних насосів високого тиску, використовують дуже багато параметрів, це впливає на показники якісної динаміки управління значення тиску дизельного палива. Не дивлячись на це, після аналізу літератури, присвяченої цьому питанню, зрозуміло, що оцінка ступені кількісного впливу, показники та функції впливу змінних параметрів математичної моделі на результат моделювання практично відсутні. Аналіз матеріалів опублікованих статей показав недостатність інформації щодо питань кількісного впливу показників та функцій чутливості зміни параметрів будь якої математичної моделі на результати моделювання, недостатньо рекомендацій щодо динаміки зміни ступеня чутливості та використання у системі значень кожного з параметрів. Підвищення якості діагностики паливної апаратури дизельного двигуна неможливо при використанні

тільки одного методу діагностування. Як результат можемо мати зниження помилкових висновків під час діагностики та зниження витрат, які забезпечують працездатність парку рухомого складу сільського господарства за рахунок правильного ТО і Р [12-14].

Попередні дослідження математичних моделей процесів у плунжерній парі ПНВТ показали дуже високий вплив на результати моделювання тиску коефіцієнта стисливості дизельного палива, коефіцієнта кінематичної в'язкості, зазору в плунжерній парі, швидкості руху плунжера. У цьому зв'язку були сформульовані наступні завдання теоретичного дослідження: розробити математичну модель процесів стисливості палива в плунжерній парі ПНВТ дизеля, кількісно оцінити вплив значень коефіцієнтів стисливості та кінематичної в'язкості дизельного палива, величини зазору в плунжерній парі моделювання процесів у ПНВТ.

Для виключення впливу процесів, що протікають в інших елементах системи паливоподачі дизеля, доцільно розглядати їх диференційовано. Тому на першому етапі дослідження розглядається лише один з елементів математичної моделі системи паливоподачі дизеля – математична модель процесу стисливості в одній плунжерній парі. При закритому виході ПНВТ продуктивність плунжерної пари, що розвивається, – подача дизельного палива переходить до витоку по щілині між втулкою і плунжером. При моделюванні використовувалися такі припущення: подача плунжерної пари відповідала витоку зазору між плунжером і втулкою; значення коефіцієнта динамічної в'язкості та стисливості змінюються із зростанням тиску палива над плунжером; не враховується перепад тисків у нагнітальному клапані насоса через невелику кількість його в порівнянні з тисками, що створюються в системі паливоподачі при впорскуванні.

Враховуючи коефіцієнт стисливості палива, диференціальне рівняння, що описує процес зміни тиску над плунжером насоса високого тиску, має вигляд [9]:

$$\alpha_m(P) V_p(\varphi) dp/dt = f_p C_p + Q_{PH}, \quad (2)$$

де $\alpha_m(P)$ – коефіцієнт стисливості палива, (1/МПа); $V_p(\varphi)$ – об'єм порожнини над плунжером (м³); f_p – площа перерізу плунжера ПНВТ (м²); C_p – миттєва швидкість плунжера насоса, (м/с); p – тиск палива над плунжером, (МПа); t – час, (с); Q_{PH} – об'ємна витрата витоку через щілину плунжер-втулка ПНВТ (м³/с); φ – кут повороту розподільчого валу дизеля, (°).

При моделюванні використовувалася експериментальна таблична залежність значень переміщення плунжера (h_p) ПНВТ від кута повороту (φ) розподільчого валу дизеля 16ЧН26/26. Інтерполяція табличної залежності переміщення плунжера від кута повороту розподільчого валу (φ) була отримана з використанням чисельного методу обчислювальної математики кубічної сплайн-інтерполяції.

Значення швидкості (v_p) та прискорення (a_p) плунжера розраховувалися чисельним диференціюванням інтерполяційної табличної залежності переміщення плунжера (h_p) кутом повороту (φ) розподільчого валу ТНВД.

При розрахунку відносних значень переміщення (h_p), швидкості (v_p) та прискорення (a_p) плунжера були використані їх максимальні значення відповідно $h_{pmax} = 0,022$ м. при $\varphi = 56^\circ$ п.р.в.; $v_{pmax} = 2,017$ м/с при $\varphi = 23^\circ$ п.р.в.; $a_{pmax} = 0,383$ м/с² при $\varphi = 19^\circ$ п.р.в.

Рівняння об'ємної витрати палива в зазорі по парі плунжер-втулка ПНВТ має наступний вигляд [9]:

$$Q_{PH} = \pi \beta_e \Delta p^2 \delta^3 d \ln(c_\mu) / (12 p_0 \delta \mu_{TO} l (c_\mu^{\Delta p/p_0} - 1)) \pm \pm (\pi u d \delta / 2), \quad (3)$$

де δ – величина кільцевого зазору, (м); u –

швидкість плунжера ПНВТ (м/с); d і l – відповідно, діаметр та довжина втулки, (м); β_e – поправочний коефіцієнт ексцентричності сполучення (від 1,15 до 1,4); $\Delta p = p_p - p_0$ – перепад тисків в ущільненні (МПа); $c_\mu = 1,0025$ – коефіцієнт з постійним значенням.

У рівнянні (3) враховується зміна коефіцієнта динамічної в'язкості від тиску p_p над плунжером ПНВТ [9]:

$$\mu_{TP} = \mu_{TO} c_\mu^{p/p_0}. \quad (4)$$

Відомі різні залежності коефіцієнта кінематичної в'язкості палива від температури. Коефіцієнти динамічної (μ_{TP}) та кінематичної (ν) в'язкості дизельного палива пов'язані між собою:

$$\nu = \mu_{TP} / \rho_T, \quad (5)$$

де ρ_T – щільність дизельного палива (кг/м³).

За табличними даними експериментальної залежності кінематичної в'язкості (ν) дизельного палива від температури (T_T) [14], побудована регресійна залежність, яка має такий вигляд:

$$\nu_p = a + c \log(T_T) + d \log(T_T)^2, \quad (6)$$

де $a = 0.76149543$; $c = -0.36487040$; $d = 0.043988593$; ν_p – розрахункова кінематична в'язкість дизельного палива.

Регресійна залежність (6) кінематичної в'язкості (ν) дизельного палива від його температури (T_T) наведено на рис. 2.

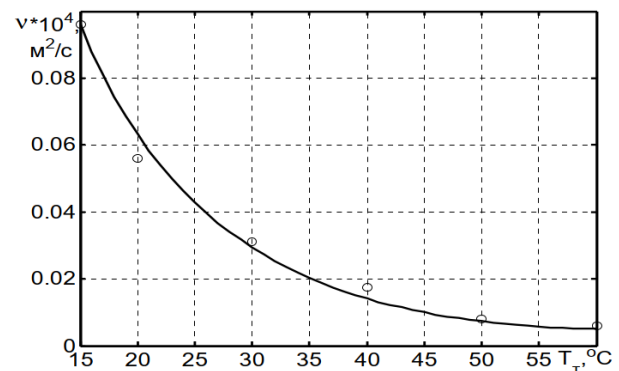


Рис. 2 – Залежність кінематичної в'язкості (ν) дизельного палива від його температури (T_T): $\circ$ – дані експерименту; — – розрахунок за регресійною моделлю

За аналітичними залежностями побудована структурна схема узагальненої математичної моделі в середі візуального графічного програмування Simulink (Рис. 3).

Вип. 67. С. 141-148. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775.24153966.2019.67.22>.
[13] Закалов О. В., Закалов І. О. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник. Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 322 с.

[14] Positive Energy District Replication – Case Study of the City of Trenčín, Slovakia / V. Ondrejčka et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1203(2). Article 022087. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1203/2/022087>.

ANALYSIS OF METHODS FOR DIAGNOSING FUEL EQUIPMENT OF AUTO TRACTOR DIESEL ENGINES AND DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF A HIGH-PRESSURE FUEL PUMP

Khudiakov I.V.	PhD (Engineering), associate professor, Kherson State Maritime Academy, Kherson, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8900-7879 , e-mail: igor.khudiakov563@gmail.com ;
Gritsuk I.V.	D.Sc. (Engineering), professor, Kherson State Maritime Academy, Kherson, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7065-6820 , e-mail: gritsuk_iv@ukr.net ;
Pohorletsky D.S.	PhD (Engineering), associate professor, Kherson State Maritime Academy, Kherson, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1256-8053 , e-mail: dimon150582@gmail.com ;
Dzygar A.K.	senior lecturer, Kherson State Maritime Academy, Kherson, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5947-6263 , e-mail: anatoliidzygar@gmail.com ;
Aksonova O.O.	assistant, Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9768-9542 , e-mail: aksonova@stu.cn.ua

In agriculture, the issue of increasing the efficiency of internal combustion engines, reducing costs for maintenance and repair of fuel equipment by improving methods and means of their diagnosis is relevant due to the aging of the agricultural rolling stock and lack of investment. Analysis of known systems currently used, as well as diesel engine vehicles, showed that one of the most common systems is a split-type system with a high-pressure multi-plunger fuel pump. Diagnosis of such systems is laborious and does not have sufficient accuracy. Mathematical models that describe the operation of high-pressure fuel pumps have a large number of parameters that affect dynamic changes in diesel fuel pressure. Analysis of the materials of published articles showed a lack of information on the quantitative impact of indicators and sensitivity functions of changes in the parameters of any mathematical model on the results of modeling, there are not enough recommendations on the dynamics of changes in the degree of sensitivity and the use of each parameter in the system of values. Improving the quality of diagnostics of diesel engine fuel equipment is not possible when using only one diagnostic method. One of the tasks is to reduce the proportion of false diagnoses, as well as improve economic indicators during the operation of mobile agricultural machinery, its repair and maintenance. The purpose of this work is to develop a mathematical model of a high-pressure fuel pump based on the analysis of modern methods for diagnosing fuel equipment of truck and tractor diesel engines. Thus, the model and scheme developed on the basis of the analysis of modern diagnostic methods are a guideline for the design and calculation of a high-pressure fuel pump. As a result, we have a reduction in erroneous conclusions during diagnostics and a reduction in costs, which ensure the operability of the agricultural rolling stock fleet through proper maintenance and repair.

Keywords: diagnostic methods, fuel equipment of auto-tractor diesel engines, mathematical model of a high-pressure fuel pump, reduction of costs for technical equipment.

References

- [1] I. Gritsuk et al., "The Complex Application of Monitoring and Express Diagnosing for Searching Failures on Common Rail System Units," *SAE Technical Paper*, 2018-01-1773, 2018. doi: **10.4271/2018-01-1773**.
- [2] A. Golovan, I. Gritsuk, S. Rudenko, V. Saravas, A. Shakhov, and O. Shumylo, "Aspects of Forming the Information V2I Model of the Transport Vessel," in *Proc. of the 2019 IEEE Int. Conf. on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, Sept. 23-25, 2019, pp. 390-393. doi: **10.1109/MEES.2019.8896595**.
- [3] F.W. Koch, and F.G. Haubner, "Cooling System Development and Optimization for DI Engines," *SAE Technical Paper Series*, № 2000-01-0283, 2000. doi: **10.4271/2000-01-0283**.
- [4] R.A. Churchill, J.E. Smith, N.N. Clarc, and R.A. Turton, "Low-heat rejection engines – a concept review," *SAE Technical Paper Series*, № 890153, pp. 25-36, 1989. doi: **10.4271/880014**.
- [5] V.P. Mateichyk, V.P. Volkov, P.B. Komov, I.V. Gritsuk, A.P. Komov, and Ju.V. Volkov, "Osoblyvosti monitorynhu stanu transportnykh zasobiv z vykorystanniam bortovykh diahnostychnykh kompleksiv" ["Features of monitoring of vehicles

- state with using of board diagnostic complexes”], *Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka – Project management, systems analysis and logistics*, vol. 13, pp. 126-138, 2014.
- [6] V. Vychuzhanin et al., “Cognitive Model of the Internal Combustion Engine,” *SAE Technical Paper*, 2018-01-1738, 2018. doi: 10.4271/2018-01-1738.
- [7] I. Gritsuk et al., “Features of the subject area of the information model of the system of remote monitoring of the technical condition and modes of operation of the truck,” *German International Journal of Modern Science*, № 9, pp. 53-58, 2021. doi: 10.24412/2701-8369-2021-9-1-53-58.
- [8] I. Gritsuk et al., “Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems),” *SAE Technical Paper*, 2020-01-2031, 2020. doi: 10.4271/2020-01-2031.
- [9] I. Gritsuk et al., “Construction of systemic interaction between tools of remote monitoring of the technical condition and operation modes of a truck vehicle,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, no. 3(127), pp. 47-63, 2024. doi: 10.15587/1729-4061.2024.298843.
- [10] T.M. Kadylnykova, “Monitorynh tekhnolohichnoho stanu yak faktor zabezpechennia bezavariinoi roboty” [“Monitoring of technological status as a factor in ensuring trouble-free operation”], *Visnyk Donbaskoi akademii budivnytstva i arkhitektury. Tekhnolohiia, orhanizatsiia, mekhanizatsiia ta heodezychna zabezpechennia budivnytstva – Bulletin of the Donbass Academy of Civil Engineering and Architecture. Technology, organization, mechanization and geodetic support of construction*, № 5(36), pp. 38-41, 2002. (Ukr.)
- [11] D. Klets et al., “Information Security Risk Management of Vehicles,” *SAE Technical Paper*, 2018-01-0015, 2018. doi: 10.4271/2018-01-0015.
- [12] I.V. Khudiakov, “Modeli bazy danykh informatsiinoi systemy monitorynhu parametriv tekhnichnoho stanu transportnykh zasobiv” [“Monitoring information system database models vehicle technical parameters”], *Naukovi Notatki*, vol. 67, pp. 141-148, 2019. doi: 10.36910/6775.24153966.2019.67.22.
- [13] O.V. Zakalov, and I.O. Zakalov, *Osnovy tertia i znoshuvannia v mashynakh: Navchalnyi posibnyk* [Fundamentals of Friction and Wear in Machinery: A Textbook]. Ternopil, Ukraine: Ternopil Ivan Puluj National Technical University Publ., 2011. (Ukr.)
- [14] V. Ondrejicka, M. Hajduk, L. Jamecny, M. Husar, and M. Jasso, “Positive Energy District Replication – Case Study of the City of Trencin, Slovakia,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1203(2), article 022087, 2021. doi: 10.1088/1757-899x/1203/2/022087.
- Стаття надійшла 23.09.2025
Стаття прийнята 17.10.2025
Стаття опублікована 29.12.2025

Цитуйте цю статтю як: Аналіз методів діагностування паливної апаратури автотракторних дизелів і розробка математичної моделі паливного насоса високого тиску / І.В. Гріцук та ін. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 52. С. 222-228. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.52.2025.351134>.