

Колобов К.С.

ДП «Державний аототранспортний науково-дослідний і проектний інститут»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕСПРАВНОСТЕЙ СИСТЕМ ТА МЕХАНІЗМІВ ДИЗЕЛЯ НА ЙОГО ЕКОЛОГІЧНІ, ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ТЕМПЕРАТУРУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

Визначення переліку параметрів, що дозволяють здійснювати комплексне діагностування двигунів, є однією з основних задач діагностування дизелів. Аналіз проведених досліджень показує, що як діагностичний параметр можна використати температуру відпрацьованих газів. Розроблення методу діагностування дизеля потребує досліджень, пов'язаних із визначенням зв'язків технічного стану дизеля з його температурою відпрацьованих газів. Результати експериментального дослідження підтвердили доцільність використання температури відпрацьованих газів як діагностичного параметра дизеля.

Ключові слова: дизель, діагностичний параметр, шкідливі речовини, температура, технічний стан.

Постановка проблеми. Діагностування та прогнозування остаточного ресурсу колісних транспортних засобів (далі – КТЗ) є однією з найважливіших умов підвищення ефективності, економічності та надійності їх використання. Ефективність експлуатації КТЗ значною мірою визначається технічним станом їхніх двигунів внутрішнього згоряння (далі – ДВЗ), для активного впливу на які необхідна об'єктивна інформація про них, що забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних технічних засобів.

Враховуючи перспективу та масштаби застосування дизелів на автомобільному транспорті, вирішення питань, пов'язаних з їхнім діагностуванням, має велике практичне значення. Особливо важливе визначення технічного стану КТЗ із дизелями під час випуску їх на лінію. Тому визначення переліку параметрів, що дозволяють здійснювати комплексне діагностування двигунів, та вивчення їх взаємозв'язку з технічним станом вузлів і систем двигуна, а також розроблення способів і засобів діагностування є однією з основних задач діагностування дизелів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технічний стан двигунів внутрішнього згоряння можна описати комплексом вихідних і структурних параметрів деталей, вузлів та систем, у конкретних числових значеннях [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8]. Методи діагностування базуються на вимірюванні й аналізі тих параметрів, зміни яких найбільшою мірою характеризують стан двигуна.

Велику зацікавленість, з погляду можливості використання з діагностичними цілями, викликають такі параметри відпрацьованих газів (далі – ВГ), як склад, димність (колір) і температура. За хімічним складом, кольором і температурою ВГ можна визначити несправності, пов'язані з роботою механізмів та систем двигуна.

Для дизелів особливо велике значення має діагностування системи живлення паливом, оскільки частка паливної системи може становити до двох третин всіх несправностей дизельного двигуна [1; 2; 4; 9, с. 56–59].

З метою встановлення технічних можливостей для діагностування транспортних дизелів неодноразово проводилися дослідження впливу відмов і несправностей двигунів на різноманітні діагностичні показники [1; 2; 3; 4; 10; 11; 12; 13].

Так, у дисертаційній роботі О. Клімпуша [2], науково-дослідних роботах, проведених у ДП «Державний аототранспортний науково-дослідний і проектний інститут» [3; 4] та Київському автомобільно-дорожньому інституті (далі – КАДІ) [1], досліджується вплив відмов і несправностей дизелів на їхні енергетичні, екологічні показники та паливну економічність.

У дисертаційній роботі І. Попелиша [13] та в інших роботах [10] досліджується вплив порушень регулювань систем дивгунів на теплове випромінювання системи випуску ВГ і пропонується метод безконтактного теплового діагностування ДВЗ.

За результатами цих робіт встановлено наявність впливу відмов і несправностей двигунів на

їхні енергетичні, екологічні показники та паливну економічність тощо, а також встановлено наявність зв'язків між цими відмовами і несправностями та діагностичними параметрами.

У роботах [1; 2; 3; 4] встановлено, що найбільше відмов і несправностей транспортних дизелів в умовах експлуатації припадає на систему живлення двигуна паливом, які можуть сягати 2/3 всіх несправностей. Також дослідження показали, що параметром, який найбільш повно відповідає вимогам до діагностичних параметрів і відображає всі основні несправності системи живлення дизеля, є температура відпрацьованих газів.

Вплив показників роботи двигуна на миттєві значення температурних імпульсів ВГ окремо за циліндрами дизеля досліджувався в Московському державному технічному університеті ім. М.Е. Баумана [12], де встановлено зв'язок амплітуди цих імпульсів із навантажувальними та швидкісними режимами роботи двигуна.

Дослідження можливості діагностування дизеля за температурою ВГ [12; 9, с. 56–59; 14, с. 52; 15, с. 147–149; 16, с. 10–12] показують, що можна діагностувати технічний стан двигуна за миттєвими значеннями температурних імпульсів ВГ окремо за циліндрами в разі застосування акустичного датчика температури.

Дослідження миттєвої температури ВГ дизеля, що проведено в Московському державному технічному університеті ім. М.Е. Баумана [12] з використанням тридротового термометра опору, підтверджують можливість діагностування ДВЗ окремо за циліндрами за температурними імпульсами ВГ у випускній системі.

У публікації Роберта Н. Хамбрита та Х.С. Бенсона (Південно-Західний науково-дослідний інститут, Сполучені Штати Америки) [11] також зазначено можливість діагностування ДВЗ за миттєвими значеннями температури ВГ. Автори доводять, що температурні імпульси ВГ зберігають свою форму та характер перебігу вздовж системи випуску, водночас послаблюються тільки амплітуда імпульсу та середнє значення температури ВГ.

Аналіз проведених раніше досліджень показує, що температура ВГ може бути використана як діагностичний параметр, насамперед для діагностування системи живлення паливом двигуна. Але розроблення методу діагностування дизеля за температурою ВГ та визначення режимів діагностування потребує додаткових досліджень, пов'язаних із визначенням зв'язків технічного стану дизеля з його показниками.

Постановка завдання. Шляхом проведення дослідних стендових випробувань дизеля необхідно

дослідити вплив найбільш характерних відмов та несправностей двигуна на його енергетичні й екологічні показники, та визначити їхні зв'язки з температурою ВГ для отримання даних, необхідних для розроблення методу діагностування дизелів за температурою ВГ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стендові моторні випробування проводилися в лабораторії дослідження використання палив та екології ДП «Державний аотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» на чотирициліндровому атмосферному дизельному двигуні моделі OM 615 виробництва фірми “Mercedes-benz”.

Випробування двигуна на моторному стенді, визначення та розрахунок його показників здійснювалося відповідно до вимог Правил ЄЕК ООН № 24–02 і Правил ЄЕК ООН № 49–02. Під час випробування визначалися енергетичні показники (ефективна потужність N_e та ефективний крутний момент двигуна M_k) і екологічні показники (концентрації у відпрацьованих газах і питомі викиди монооксида вуглецю (CO), загальних вуглеводнів (HC), оксидів азоту (NO_x), твердих частинок (PT), а також димність $BГ(N)$.

За попереднім аналізом літературних джерел було визначено, що більшість відмов дизеля припадає на систему живлення двигуна паливом, тому дослідження проводилося з імітуванням відмов саме цієї системи. Досліджувався вплив зміни (розрегулювання) статичного кута випередження впорскування палива та зміни тиску впорскування палива форсунками. Зазначені відмови дизеля створювалися штучно, шляхом внесення змін до їхнього регулювання.

Оцінювання впливу відмов на енергетичні, екологічні показники та температуру ВГ здійснювалося в режимах максимальної потужності, максимального крутного моменту та в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу двигуна. Загальна оцінка впливу відмов дизеля на його екологічні показники здійснювалася шляхом визначення питомих викидів шкідливих речовин під час випробування згідно із Правилами ЄЕК ООН № 49–02.

Аналіз результатів визначення впливу зміни кута випередження впорскування палива дизеля на енергетичні показники та температуру ВГ показує, що максимальний крутний момент $M_{кмакс}$ (рис. 1) та максимальна потужність N_e (рис. 3) дизеля зменшуються, а температура ВГ $T_{ВГ}$, навпаки, збільшується за відхилення кута випередження впорскування палива від штатного (оптимального) значення ($\theta = 18^\circ$ до ВМТ) як у бік збільшення, так і в бік зменшення. Концентрації оксиду вуглецю (CO) та

димність ВГ (N) за збільшення кута випередження впорскування палива порівняно з оптимальним значенням значно зростають як у режимі максимального крутного моменту (рис. 2), так і в режимі максимальної потужності (рис. 4), а за зменшення кута – явно збільшуються тільки в режимі максимальної потужності. Концентрації вуглеводнів (НС), навпаки, збільшуються тільки за зменшення кута випередження впорскування палива, до того ж як у режимі максимального крутного моменту, так і в режимі максимальної потужності. Концентрації оксидів азоту (NO_x) у ВГ мають незначне підвищення, якщо кут випередження впорскування палива наближений до оптимального значення.

У режимі холостого ходу (рис. 5) температура ВГ збільшується як за збільшення, так і за зменшення кута випередження впорскування палива.

Концентрації оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів (НС) та димність ВГ (N) за збільшення кута випередження впорскування палива не змінюються, а за зменшення кута випередження впорскування палива значно збільшуються. Концентрації оксидів азоту (NO_x) у режимі холостого ходу мають майже лінійну залежність від кута випередження впорскування палива – значно збільшуються за збільшення кута і зменшуються за його зменшення.

Результати визначення впливу зміни тиску впорскування палива форсунками дизеля на енергетичні показники та температуру ВГ показують, що максимальний крутний момент $M_{кмакс}$ (рис. 6) та температура ВГ $T_{ВГ}$ знижуються за збільшення тиску впорскування щодо штатного налаштування ($P_{впр} = 11,5$ МПа), що може бути пояснено зменшенням порції палива, що впорскується форсункою

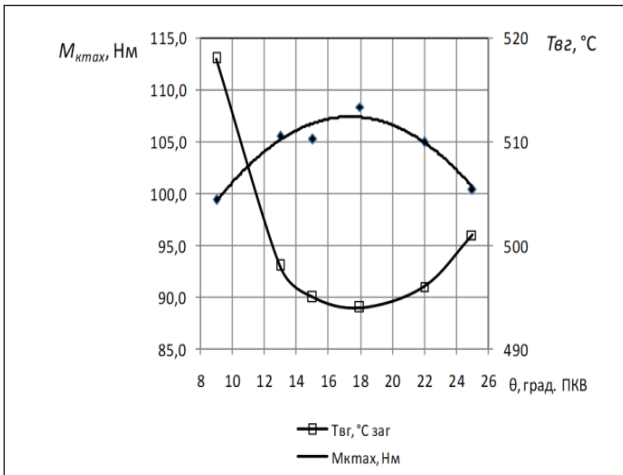


Рис. 1. Залежність максимального крутного моменту ($M_{кмакс}$) та температури ВГ ($T_{ВГ}$) дизеля від кута випередження впорскування палива

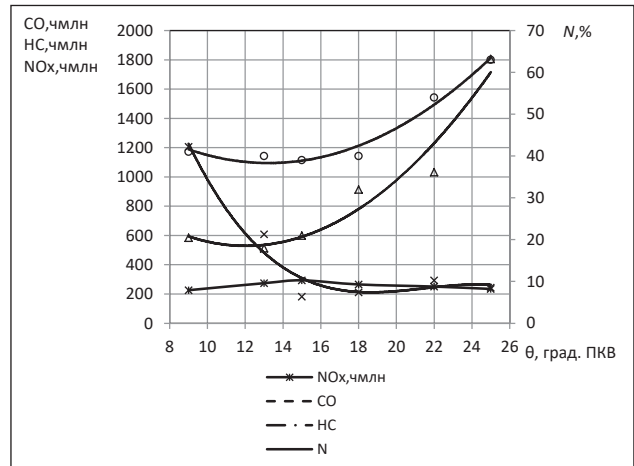


Рис. 2. Залежність викидів ШР дизеля в режимі холостого ходу від кута випередження впорскування палива

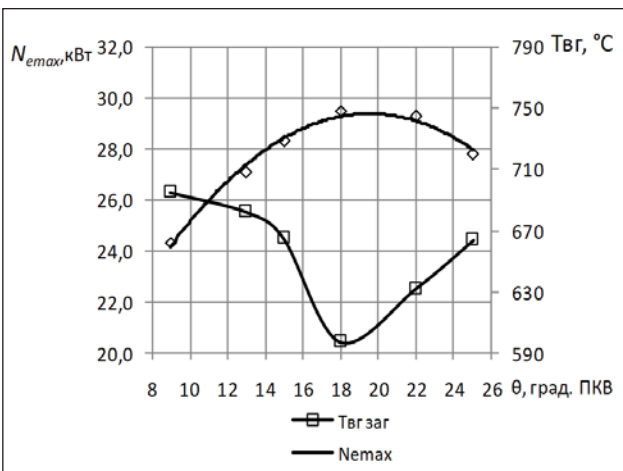


Рис. 3. Залежність максимальної потужності ($N_{емакс}$) та температури ВГ ($T_{ВГ}$) дизеля від кута випередження впорскування палива

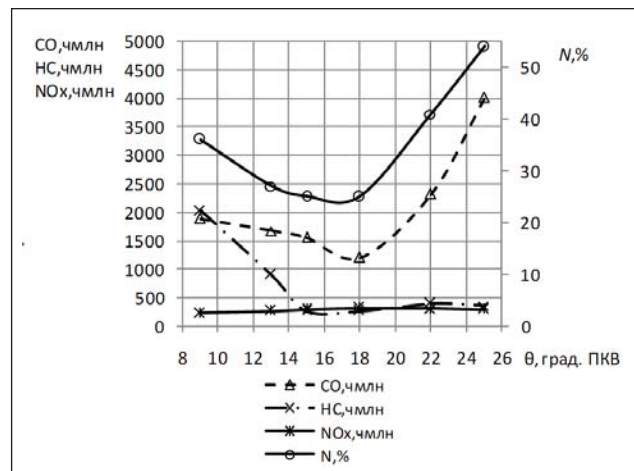


Рис. 4. Залежність викидів ШР дизеля в режимі максимальної потужності від кута випередження впорскування палива

в камеру згоряння, та зменшенням кута випередження впорскування палива. За зменшення тиску впорскування крутний момент дещо зменшується, а температура ВГ, навпаки, збільшується, що пояснюється збільшенням порції палива, яку впорскує форсунка, і збільшенням кута випередження впорскування палива. Відповідним чином змінюються і концентрації оксиду вуглецю (CO) та димність ВГ (N) (рис. 7), а концентрації вуглеводнів (HC) та оксидів азоту (NO_x) водночас мають незначну зміну.

У режимі холостого ходу (рис. 8, 9) концентрації оксиду вуглецю CO , вуглеводнів HC , димність N і температура ВГ $T_{ВГ}$ збільшуються, а концентрації оксидів азоту NO_x , навпаки, зменшуються як за збільшення тиску впорскування, так і за його зниження, що можна пояснити змінами кута випередження впорскування палива.

Розрахунок обсягів питомих викидів шкідливих (забруднюючих) речовин (ШР) із ВГ дизеля було виконано відповідно до Правил ЄЕК ООН № 49–02.

Результати оцінювання впливу вищезазначених несправностей на відповідність дизеля нормованим значенням питомих викидів шкідливих речовин, зокрема й твердим частинкам, показують, що дизель найбільше відповідає нормативним значенням за штатних налаштувань кута випередження впорскування палива (табл. 1) та тиску впорскування палива (табл. 2). Збільшення кута випередження впорскування палива призводить до збільшення, передусім, питомих викидів оксиду вуглецю CO та оксидів азоту NO_x . У разі зменшення кута значно збільшуються питомі викиди оксиду вуглецю CO , вуглеводнів HC та твердих частинок PT , а питомі викиди оксидів азоту NO_x зменшуються.

Зміна тиску впорскування палива від штатного налаштування як у бік збільшення, так і в бік зменшення призводить до значного погіршення питомих викидів оксиду вуглецю CO , вуглеводнів HC і твердих частинок PT , а питомі викиди оксидів азоту NO_x майже не змінюються.

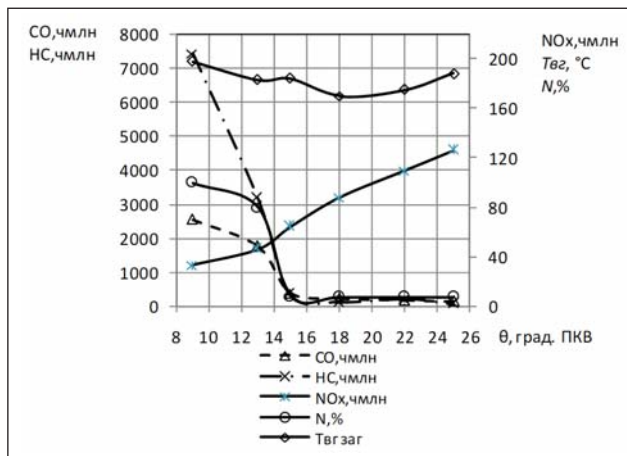


Рис. 5. Залежність викидів ШР і температури ВГ ($T_{ВГ}$) дизеля в режимі холостого ходу від кута випередження впорскування палива

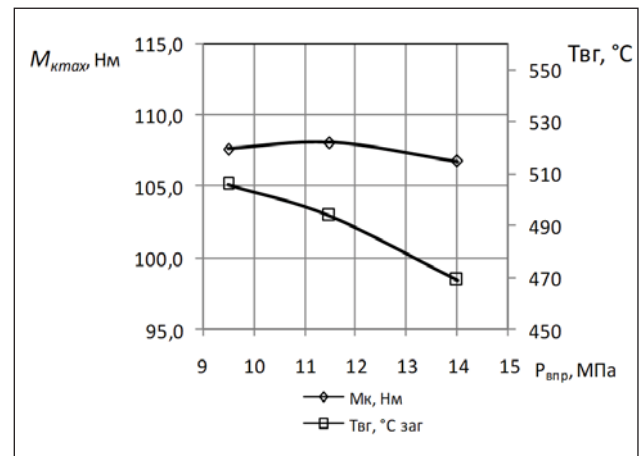


Рис. 6. Залежність максимального крутного моменту (M_{kmax}) та температури ВГ ($T_{ВГ}$) дизеля від тиску впорскування палива, $P_{впр}$, МПа

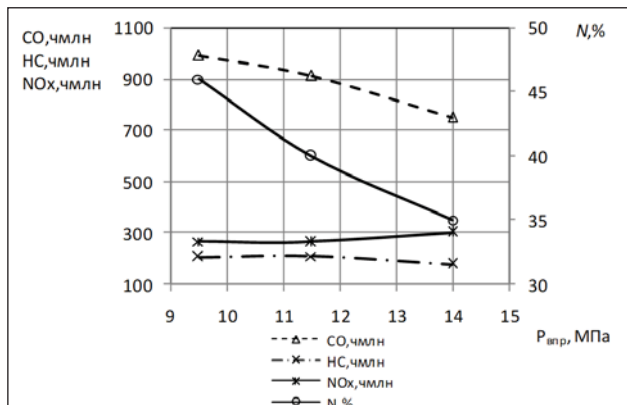


Рис. 7. Залежність викидів ШР дизеля в режимі M_{kmax} від тиску впорскування палива, $P_{впр}$, МПа

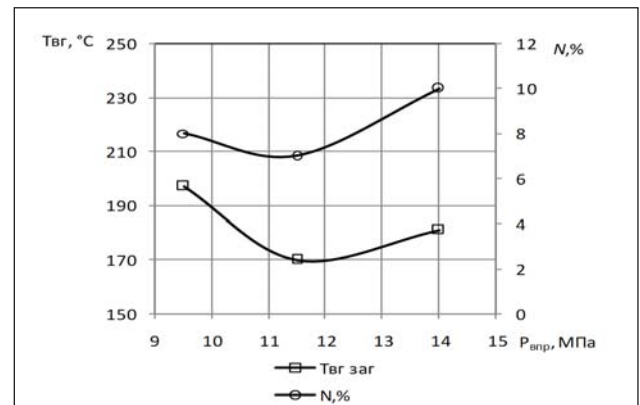


Рис. 8. Залежність димності (N) та температури ВГ ($T_{ВГ}$) дизеля в режимі холостого ходу від тиску впорскування палива, $P_{впр}$, МПа

Таблиця 1

Залежність питомих викидів ШР від кута випередження впорскування палива

$\theta, ^\circ$ ПКВ до ВМТ	NO _x , г/кВт·год	НС, г/кВт·год	СО, г/кВт·год	РТ, г/кВт·год
9	2,42	17,02	16,31	8,934
13	2,76	7,64	11,70	3,329
15	3,12	1,36	7,00	0,517
18	3,08	1,02	5,54	0,306
22	3,12	1,31	7,76	0,319
25	3,25	1,01	12,91	0,291
Нормативне значення, згідно із Правилами ЄЕК ООН № 49-02	8,0	1,1	4,5	0,36

Таблиця 2

Залежність питомих викидів ШР від тиску впорскування палива

Тиск впорскування палива, МПа	NO _x , г/кВт·год	НС, г/кВт·год	СО, г/кВт·год	РТ, г/кВт·год
9,5	2,74	1,37	6,42	0,510
11,5	3,08	1,02	5,54	0,306
14,0	3,08	1,39	5,35	0,587
Нормативне значення, згідно із Правилами ЄЕК ООН № 49-02	8,0	1,1	4,5	0,36

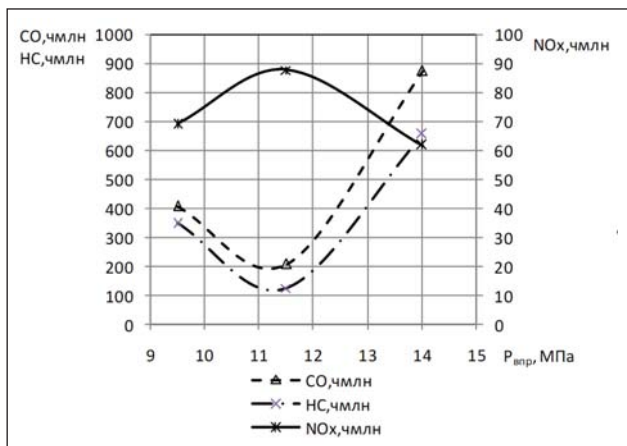


Рис. 9. Залежність викидів ШР дизеля в режимі холостого ходу від тиску впорскування палива, $P_{впр}$, МПа

Висновки. Експериментально було визначено вплив характерних несправностей системи живлення двигуна паливом на його енергетичні й екологічні показники, визначено їхній зв'язок із температурою ВГ. Оцінено вплив цих несправностей на відповідність дизеля нормованим значенням питомих викидів шкідливих речовин, зокрема й за твердими частинками, згідно зі стандартизованою процедурою Правил ЄЕК ООН № 49-02. Визначено, що відхилення налаштувань систем і механізмів системи живлення двигуна паливом від штатних призводить до значного підвищення питомих викидів дизелем шкідливих речовин. Отримані дані будуть прийняті до використання під час розроблення методу діагностування дизелів за температурою ВГ.

Список літератури:

1. Исследование диагностических симптомов и разработка аппаратуры для диагностики дизельных двигателей ЯМЗ-236, ЯМЗ-238: звіт про НДР (заключний) КАДІ; кер. Я. Несвітський. Київ, 1970. 107 с. № ДР 71011481.
2. Климуш О. Исследование и выбор диагностических параметров автомобильных дизелей семейства ЯМЗ: дисс. ... канд. техн. наук. Киев, 1973. 213 с.
3. Разработать и освоить методы и технические средства диагностирования автомобильных двигателей с целью снижения токсичности отработавших газов: звіт про НДР (заключний) ДержавтотрансНДІпроект; кер. О. Климуш. Київ, 1980. 65 с.
4. Исследование и оценка выходных параметров дизельных двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238, применяемых для диагностирования их технического состояния: звіт про НДР (заключний) ДержавтотрансНДІпроект; кер. Б. Левінсон. Київ, 1972. 61 с. № ДР 71070834.
5. Жерновий А., Колобов К. Вибір діагностичних параметрів для експрес-діагностування дизелів. Вісник Національного транспортного університету. 2012. № 25. С. 175–178.
6. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей: учебник для вузов / под ред. А. Орлина, М. Круглова. Москва, 1985. 456 с.
7. Автомобильные двигатели: учебник для вузов / под ред. В. Архангельского. Москва, 1967. 496 с.
8. Файнлейб Б. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: справ. Ленингр. 1990. 352 с.
9. Жерновий А., Колобов К. Розробка та дослідження методу діагностування двигунів внутрішнього згорання. Автошляховик України. 2005. Окремий вип. С. 56–59.

10. Чигринец А. Бесконтактная тепловая диагностика транспортных машин. Киев: Вища школа, 1989. 168 с.
11. Hambright Robert. Diagnostics of diesel engines using exhaust smoke. SAE Prepr. 1976. № 760833. 8 p.
12. Исследование мгновенной температуры выпускных газов: отчет МВТУ им. Н.Э. Баумана; рук. М. Круглов. Москва, 1972. 168 с. № ГР 172000443.
13. Попельш И. Разработка метода термометрической диагностики ДВС: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Киев, 1993. 27 с.
14. Жерновий А., Колобов К. Розробка методу експрес-діагностування двигунів внутрішнього згоряння: наук.-практ. конф. Київ: НТУ, 2007. С. 52.
15. Жерновий А., Колобов К. Аналіз та вибір засобу діагностування двигунів внутрішнього згоряння. Автошляховик України. 2004. Окремий вип. С. 147–149.
16. Жерновий А., Колобов К. Вибір засобу експрес-діагностування дизелів. Автошляховик України. 2011. № 4. С. 10–12.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИСТЕМ И МЕХАНИЗМОВ ДИЗЕЛЯ НА ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ТЕМПЕРАТУРУ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ

Определение перечня параметров, позволяющих осуществлять комплексное диагностирование двигателей, является одной из основных задач диагностирования дизелей. Анализ проведенных исследований показывает, что в качестве диагностического параметра может быть использована температура отработанных газов. Разработка метода диагностирования дизеля требует исследований, связанных с определением связей технического состояния дизеля с его температурой отработанных газов. Результаты экспериментального исследования подтвердили целесообразность использования температуры отработанных газов в качестве диагностического параметра дизеля.

Ключевые слова: дизель, диагностический параметр, вредные вещества, температура, техническое состояние.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF MALFUNCTIONS OF SYSTEMS AND MECHANISMS OF DIESEL ON ITS ECOLOGICAL, ENERGY INDICES AND TEMPERATURE OF EXHAUST GASES

Determination of the list of parameters that allow for comprehensive diagnostics of engines, constitute one of the main tasks of diagnosing diesel engines. The analysis of the research shows that the temperature of the exhaust gases can be used as a diagnostic parameter. The development of the method for diagnosing diesel engines requires research related to the definition of the connections of the technical state of the diesel engine with its temperature of exhaust gases. The results of the experimental testing confirmed the expediency of using the temperature of the exhaust gases as a diagnostic parameter of the diesel engine.

Key words: diesel, diagnostic parameter, harmful substances, temperature, technical condition.