

Яцковський В. І.

Яцковська Р. О.

*Вінницький
національний аграрний
університет*

Yatskovskyi V. I.

Yatskovska R. O.

*Vinnitsia National
Agrarian University*

УДК 621.432

ЗМІНА ІНДИКАТОРНОЇ ДІАГРАМИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ПРИ МОДЕЛЮВАННІ НЕСПРАВНОСТЕЙ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ

Стаття присвячена моделюванню вібрацій блоку циліндрів двигуна. Для побудови даної моделі необхідно розглянути фактори, які впливають на зміну цих показників. В першу чергу це будуть розрегулювання та несправності паливної системи, які прогресують зі збільшенням строку роботи двигуна. В статті розглядається вплив несправностей паливної апаратури на зміну індикаторних показників роботи двигуна, що в свою чергу приводить до зміни сил, які в ньому діють і як наслідок, до зміни вібраційних показників блокартеру двигуна.

Ключові слова: діагностування, моделювання, вібраційні характеристики, розпізнавання.

Постановка проблеми. При рядовій експлуатації двигунів внутрішнього згорання їх регулювання відхиляються від номінальних значень, що приводить до необхідності побудови великої діагностичної моделі, яка дає можливість оцінити вплив цих регулювань або несправностей на вібраційні показники блоку циліндрів двигуна.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемами дослідження зміни технічного стану агрегатів та систем двигуна на протязі тривалого часу експлуатації та їх впливом на надійність та довго тривалість роботи двигуна займалися такі видатні вчені, як Аллілуєв В.А., Ждановський Н.С., Ніколаєнко А.В., Топілін Г.Є. та інші. Нажаль в останній час цим питанням приділяється мало уваги.

Мета досліджень. Створення діагностичної моделі, яка пов'язує несправності та розрегулювання паливної системи з вібраційними параметрами блоку циліндрів двигуна.

Основні результати дослідження. Система живлення – одна з найбільш відповідальних та складних в дизельному двигуні. На долю цієї системи припадає від 25 до 50% усіх несправностей, які трапляються на тракторних двигунах.

На робочий процес дизельних двигунів великий вплив має стан повітряних фільтрів. Із збільшенням строку роботи двигуна змінюються характеристики роботи повітряних фільтрів

(коефіцієнт пропускання абразивних частинок та опір). Причини такої зміни – забруднення фільтруючих елементів, а також рівня масла в піддоні. Збільшення опору викликає ріст розрідження у впускному колекторі, та знижує ступінь наповнення циліндрів повітрям та, як наслідок, потужність та економічність двигуна.

Велика кількість можливих несправностей двигуна пов'язано з несправностями паливної апаратури та її розрегулюваннями. Усі ознаки порушення робочого процесу двигуна (важкий пуск, перебої в роботі, димність, зниження потужності та економічності) можуть бути наслідком несправностей паливної апаратури.

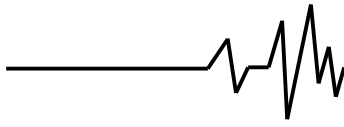
Спрацювання прецизійних пар паливного насосу впливає на циклову подачу палива. На основі результатів дослідження встановлено наступний вплив спрацювання плунжерних пар на подачу палива:

- спрацювання плунжерних пар значно знижує продуктивність;

- найбільші втрати годинної витрати палива мають місце на пускових обертах (150 – 200 об/хв.) та складають 70-73% від подачі нових плунжерних пар;

- зі збільшенням обертів перетікання палива в спрацьованих плунжерних парах зменшується, однак і при нормальних обертах воно на 35% менше ніж у насосі з новими парами;

- на пускових обертах втрати настільки



великі, що неможливо запустити двигун.

Якщо насос з новими плунжерними парами має нерівномірність подачі на пускових обертах 7%, то при спрацьованих плунжерних парах вона може збільшитися до 63%.

При спрацюванні зазору в спряженні розвантажуючий пояс – отвір гнізда клапану спостерігається більш інтенсивне зростання подачі палива зі збільшенням обертів кулачкового валу насоса. Це пояснюється збільшенням залишкового тиску в паливопроводах високого тиску внаслідок недостатнього розвантажуючого ефекту клапану від спрацювання розвантажуючого пояса. При цьому процес впорскування палива форсункою розтягується (замість різкої відсічки) і паливо підтікає крізь розпилювач форсунки. Паливо при цьому згоряє не повністю, двигун димить, зменшується його економічність, а розпилювачі закоксовуються і втрачають здатність працювати.

За технічними умовами при нормальних обертах та повній подачі палива допускається нерівномірність 4%, тоді як спрацьовані клапани дають ступінь нерівномірності 16,4%.

Спрацювання кулачків вала паливного насоса, штовхачів, плунжерів, зубів розподільчих шестерень та інших деталей призводить до поступового відхилення кута випередження подачі палива в сторону запізнення, що порушує нормальний робочий процес: паливо догоряє в такті розширення, збільшується температура відпрацьованих газів та змінюється тепловий режим роботи двигуна, частина палива викидається з відпрацьованими газами.

При великому збільшенні кута випередження подачі палива збільшується жорсткість роботи двигуна. При цьому зменшується потужність і збільшується витрата палива.

Спрацювання деталей регулятора викликає зниження частоти обертів колінчатого валу та, як наслідок потужність та економічність, двигуна.

При експлуатації в новій форсунці інтенсивно припрацьовуються торцеві поверхні хвостовика голки, штанги, пружини та регулювального гвинта. Циклічні навантаження нової пружини приводять до зменшення її довжини у вільному стані. Після відпрацювання 150 ... 200 мотогодин інтенсивність припрацювання деталей знижується, стабілізується жорсткість та довжина пружини у вільному стані. Це приводить до того, що у нових форсунк за цей час роботи тиск початку впорскування знижується на 3,5...5,0 МПа, що викликає зниження основних параметрів впорскування. При цьому істотно зменшується потужність двигуна та його економічність.

Спрацювання поверхонь запірних конусів корпусу та голки розпилювача, верхнього торця голки із сторони хвостовика приводить до збільшення ходу голки, а як наслідок, часу попадання циліндрових газів в порожнину розпилювача.

На збереження працездатності паливної апаратури великий вплив має якість очищення палива паливними фільтрами. При цьому притерті частини паливної апаратури спрацьовуються і збільшуються втрати палива від його перетікання, зменшується потужність та погіршується економічність роботи двигуна [1,2,3,4].

Під час експлуатації іноді спостерігаються випадки заклинювання плунжерних пар. При цьому рейка втрачає рухливість і частота обертання колінчастого валу двигуна збільшується (двигун може йти "в рознос").

Перелік основних несправностей паливної апаратури, що впливають на потужність двигуна наведено на рис.1.

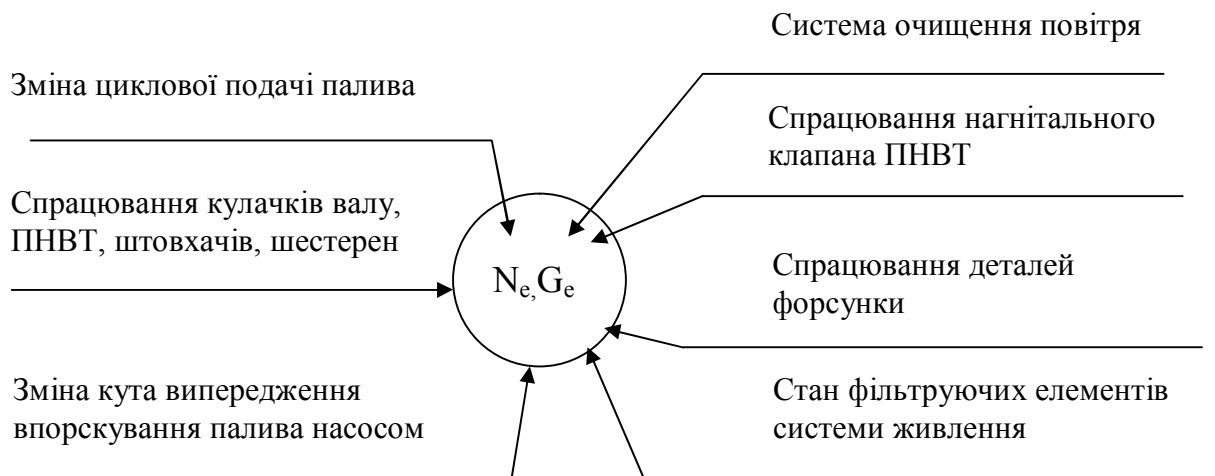
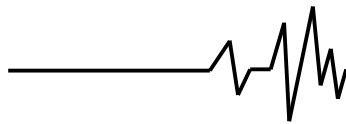


Рис. 1. Фактори, які впливають на зміну потужності та економічності двигуна



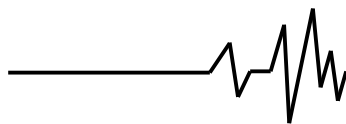
Дизель – складна технічна система. На робочий процес, що протікає в циліндрах впливає велика кількість параметрів різних систем (живлення, мащення, охолодження). Взаємозв'язок між виконанням ними своїх

функцій та справністю складових частин можуть бути представлені у вигляді таблиці [5,6]. Складемо таку таблицю для несправностей паливної апаратури (таблиця 1).

Таблиця 1

Ознаки зміни працездатності дизельних двигунів

Можливі несправності паливної системи дизельного двигуна (узагальнені признаки)	Якісні признаки зміни робото здатності дизеля										
	При пуску		Характер роботи		Характер випуску			Супутні признаки			
	Не пускається	Важкий пуск	Нерівномірна робота	Перебої в роботі	Чорний дим при будь-якій частоті обертання	Чорний дим при ном. Частоті	Білий дим	Стуки	Самовільна зупинка	Не забезпечується ном. потужність	Велика витрата палива
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Підсмоктування повітря в систему паливоподачі	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
2. Вода в паливі	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
3. Порушення параметрів впорскування палива форсунками	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1
4. ПНВТ не забезпечує робочий тиск впорскування при пуску двигуна	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
5. Понижений тиск палива, яке подається до ПНВТ	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
6. Кут початку подачі палива: - менше номінального - більше номінального	1	1 1	0 0	0 0	1 0	0 0	0 0	1 1	0 0	1 1	1 1
7. Нерівномірність подачі палива секціями ПНВТ	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
8. Максимальна подача палива ПНВТ: - збільшена - знижена	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 0	0 0	0 0	0 0	0 1	1 0
9. Забруднені паливопроводи або забірник в паливному баці	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10. Забруднення фільтруючих елементів	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
11. Поломка пружин штовхачів ПНВТ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
12. Поломка пружин або негерметичність нагнітальних клапанів	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0



Продовження таблиці 1

13. Зависання плунжера ПНВТ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
14. Спрацювання плунжерної пари	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15. Регулятор	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16. Ослаблення кріплення зубчатого вінця тулки плунжера ПНВТ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

В цій таблиці показаний взаємозв'язок несправностей та якісних ознак несправностей паливної апаратури. Якщо між ними є взаємозв'язок, то ставиться 1, а якщо взаємозв'язку не спостерігається, то ставиться 0. Такі таблиці можуть застосовуватися для визначення мінімальної кількості перевірок на другому етапі діагностування. Для цього потрібно використовувати наступні рекомендації:

1. При виявленні визначеного якісного признака порушення робочого процесу опитуванням механізатора або перевіркою роботи двигуна на різних режимах потрібно встановити наявність усіх можливих ознак, які вказані в графах 2 – 12 таблиці 1.

2. З обліком встановлених якісних ознак порушення нормальної роботи дизельного двигуна потрібно виявити мінімальне число можливих несправностей його систем або механізмів, вказаних в графі 1 таблиці 1, застосовуючи правило: розглядати тільки такі можливі порушення працездатності складових частин, які пов'язані зі всіма з виявлених якісних ознак або найбільшим їх числом.

Використаємо таблицю 1 для виявлення найбільш впливової деталі на працездатність дизеля. Після підрахунку кількості одиниць по

горизонтальним лініям можна побачити, що на долю ПНВТ припадає 30 несправностей, форсунки – 8, води в паливі – 6, підсмоктування повітря – 5, понижений тиск палива до ПНВТ – 5.

Як видно з цієї таблиці цікавість являє моделювання робочого процесу при різних несправностях паливної апаратури. Для цього виберемо наступні параметри: зміна циклової подачі палива, зміна кута випередження впорскування палива, зміна діаметру соплового отвору форсунки, зміна тривалості подачі палива за кутом повороту колінчастого валу двигуна.

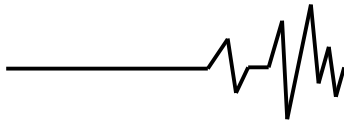
Для виконання розрахунку оберемо методику. На наш погляд найкращою методикою є розрахунок, який розроблений Разлейцевим Н.Ф.[7]. Ця методика дозволяє виконати тепловий розрахунок двигуна при моделюванні різних несправностей паливної апаратури, які виникають при експлуатації дизельних двигунів. Крім того, ця методика дозволяє швидко дослідити протікання процесу сумішоутворення при використанні різних видів палива.

Розрахункові значення для одного варіанту наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Розрахункові значення кількості палива, що вигоряє в циліндрі двигуна

φ , П.к.в.	Φ_z	ζ_s	$dx/d\tau$	x
349	$4.1 \cdot 10^{-2}$	0.882	483.28	0.2705
350	$5.36 \cdot 10^{-2}$	0.847	417.25	0.3291
355	0.116	0.683	247.88	0.4792
360	0.179	0.552	174.07	0.5381
365	0.242	0.464	134.8	0.5719
370	0.305	0.423	113.42	0.6059
375	0.367	0.426	102.15	0.6497
380	0.43	0.466	95.7	0.7
385	0.492	0.531	90.76	0.7497
391	0.568	0.625	86.99	0.8134



Провівши ці розрахунки, ми отримали залежність між кількістю палива що вигоряє в циліндрі двигуна та кутом повороту колінчатого валу двигуна. Для отримання індикаторної діаграми, тобто залежності між тиском всередині циліндра двигуна та кутом повороту колінчатого валу використаємо наступну методику [8].

Розрахунок проводиться в мольних одиницях. Визначаються мольні складові повітря та палива:

$$V_{\beta} = \frac{V_a \cdot \eta_V \cdot \rho_B}{M_B}, \quad (1)$$

де густина повітря:

$$\rho_B = \frac{1,29}{1 + 3,665 \cdot 10^{-3} (T_a - 273)}, \quad (2)$$

$$b'_u = \frac{b_u}{M}, \quad (3)$$

Теоретично необхідна кількість повітря:

$$\beta = \frac{4nx + 1,1xm + 1,23(n + m/4)(\alpha - x) + 3,534\alpha(n + m/4)}{4,76\alpha(n + m/4) + mx/4}, \quad (8)$$

та зміна сумарного об'єму продуктів згоряння та повітря V_{β} :

$$V_{\beta} = \frac{V_a \cdot \eta_V \cdot \rho_B}{\mu_B} \left[1 + \frac{mx}{19,04\alpha(n + m/4)} \right], \quad (9)$$

Вираховується $b'_u H_H \Delta x / V_{\beta} = B$

Знаходимо поправку:

$$d = (1,11 + 7,73 \cdot 10^{-5} t)(\beta - 1) + 1, \quad (10)$$

Визначається теплоємність для початкового значення:

$$l_0 = 4,76(n + m/4), \quad (4)$$

Коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha = \frac{V_{\beta}}{b'_u \cdot l_0}, \quad (5)$$

Знаходимо параметри стану для початку горіння виходячи з умови початку вибухового горіння при $T=635$ К.

$$p = \frac{V_{\beta} \cdot R \cdot T}{V}, \quad (6)$$

Розрахунок проводиться в табличній формі, для чого визначається значення геометричного об'єму:

$$V = V_C + 0,125\pi D^2 S_n [1 - \cos \varphi + 0,25\lambda_k (1 - \cos 2\varphi)], \quad (7)$$

Кількість палива яке вигоріло беремо з попереднього розрахунку. По величині x визначаються β :

$$du = t \left\{ 20,786 + 4,2 \left[1 - e^{-3,11(t/2000)^{1,782}} \right] \right\} \cdot \left[(1,111 + 7,73 \cdot 10^{-5} t) - 1 \right] (\beta - 1) + 1, \quad (11)$$

Визначається температура по формулі:

$$T_2 = \frac{B + u_1 + RT_1 + 273 \mu c_{V1}}{\mu c_{Vi} + R} = \frac{B + 18918}{\mu c_i + 8,314}, \quad (12)$$

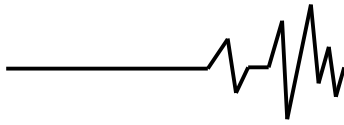
Таким чином проводячи розрахунок по цій методиці ми можемо отримати зміну тиску і об'єму в середині циліндру двигуна в залежності від кількості палива, що вигоряє.

Отримані значення зведені в таблицю 3.

Таблиця 3

Значення тиску та температури всередині циліндру двигуна

φ , ° п.к.в	x	T , К	P , МПа
345.73	0	620.43	2.14
346	$1.48 \cdot 10^{-2}$	636.7	2.22
350	0.3738	971.12	3.92
355	0.4792	1061,5	4.64
360	0.5381	1111.3	5.041
365	0.5719	1139.96	4.99
370	0.6059	1168.74	4.64
375	0.6497	1205.79	4.15
380	0.7004	1248.1	3.62
385	0.7497	1288.8	3.12
391	0.8134	1342.4	2.62



Отримані індикаторні діаграми, які палива до моменту відкриття випускного показані від моменту початку впорскування клапану показані на рисунку 2, 3.

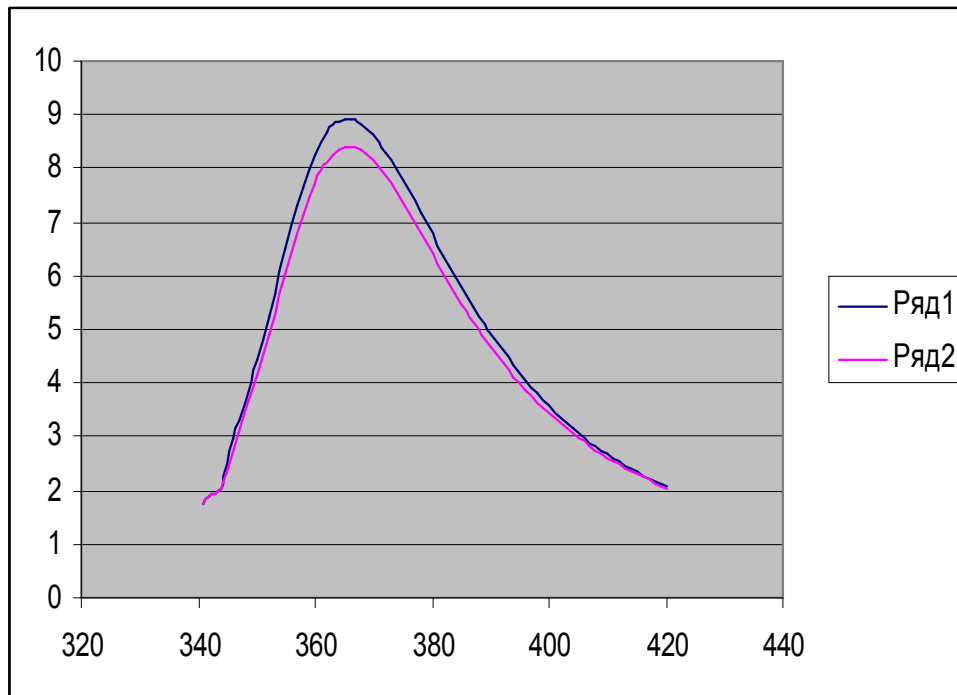


Рис. 2. Розрахункова індикаторна діаграма при зміні циклової подачі палива на $\pm 15\%$ від номінального значення

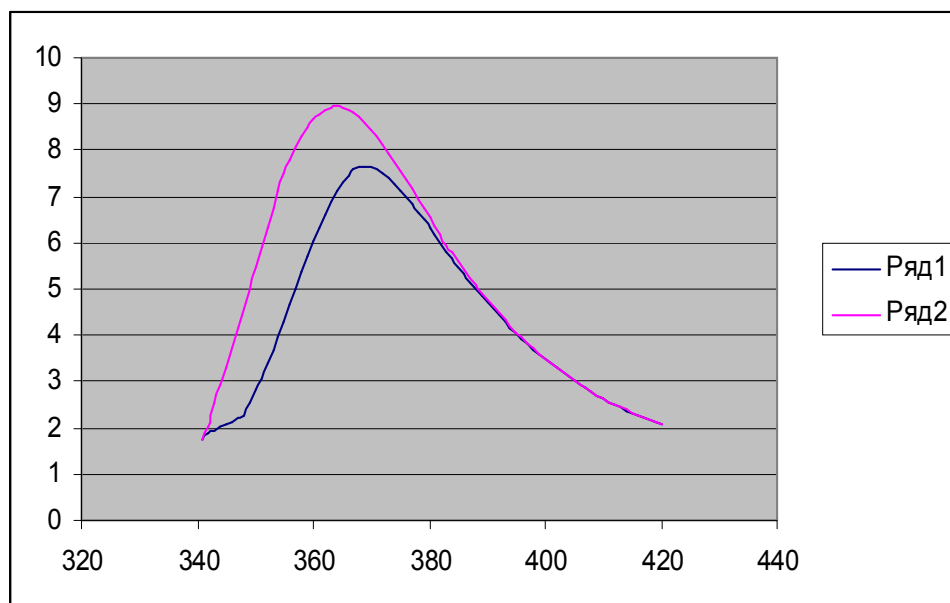
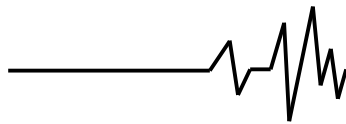


Рис. 3. Розрахункова індикаторна діаграма при зміні кута початку впорскування палива на $\pm 15\%$ від номінального значення

Висновки. Як видно з наведених рисунків при зміні експлуатаційних параметрів паливної апаратури, що виникає при експлуатації тракторів та автомобілів їх робочі процеси також змінюються в широких межах, що приводить до погіршення показників потужності

та економічності двигунів. Крім того стають гіршими і екологічні показники двигунів.

Якщо точно визначити індикаторну діаграму на робочому двигуні то є можливість побудувати бортову автоматичну систему діагностування.

**Список використаних джерел**

1. Аллилуев В.А. Техническая диагностика тракторов и зерноуборочных комбайнов / В.А. Аллилуев, Н.С. Ждановский, А.В. Николаенко и др. – М.: Колос, 1978.-287 с.
2. Бельских В. И. Диагностирование и обслуживание сельскохозяйственной техники / В. И. Бельских – М.: Колос, 1980, – 575 с.
3. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В.М. Михлин – М.: Колос, 1984, – 335 с.
4. Черепанов С.С. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве / С.С. Черепанов – М.: Колос, 1978, – 287 с.
5. Ждановский Н.С. Надежность и долговечность автотракторных двигателей / Н.С. Ждановский, А.В. Николаенко – Л.: Колос, Ленингр. Отд-ние, 1981, – 295 с.
6. Николаенко А.В. Повышение эффективности использования тракторных дизелей в сельском хозяйстве / А.В. Николаенко, В.Н. Хватов – Л.: Агропромиздат, Ленингр. Отд-ние, 1986, – 191 с.
7. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях / Н.Ф. Разлейцев – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те., 1980. – 169 с.
8. Пьядичев Э.В. Методика расчета теоретических циклов и обработка индикаторных диаграмм / Э.В. Пьядичев // Двигателестроение. – 1989.- №7. – С. 19-22.

Список джерел в транслітерації

1. Alliluev V.A. Tehnicheskaya diagnostika traktorov i zernouborochnykh kombaynov / V.A. Alliluev, N.S. Zhdanovskiy, A.V. Nikolaenko i dr. – М.: Kolos, 1978. – 287 s.
2. Belskih V. I. Diagnostirovanie i obsluzhivanie selskohozyaystvennoy tehniky / V. I. Belskih – М.: Kolos, 1980, – 575 s.
3. Mihlin V.M. Upravlenie nadezhnostyu selskohozyaystvennoy tehniky / V.M. Mihlin – М.: Kolos, 1984, – 335 s.
4. Cherepanov S.S. Tehnicheskoe obsluzhivanie i remont mashin v selskom hozyaystve / S.S. Cherepanov – М.: Kolos, 1978, – 287 s.
5. Zhdanovskiy N.S. Nadezhnost i dolgovechnost avtotraktornykh dvigateley / N.S. Zhdanovskiy, A.V. Nikolaenko – Л.: Kolos, Leningr. Otd-nie, 1981, – 295 s.
6. Nikolaenko A.V. Povyishenie effektivnosti ispolzovaniya traktornykh dizeley v selskom hozyaystve / A.V. Nikolaenko, V.N.

Hvatov – L.: Agropromizdat, Leningr. Otd-nie, 1986, – 191 s.

7. Razleytsev N.F. Modelirovanie i optimizatsiya protsessa sgoraniya v dizelyah / N.F. Razleytsev – Harkov: Vischa shkola. Izd-vo pri Hark. un-te., 1980. – 169 s.

8. Pyadichev E.V. Metodika rascheta teoreticheskikh tsiklov i obrabotka indikatornykh diagramm / E.V. Pyadichev // Dvigatelistroenie. – 1989. – № 7. – С. 19-22.

**ИЗМЕНЕНИЕ ИНДИКАТОРНОЙ ДИАГРАММЫ
ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ
МОДЕЛИРОВАНИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ
ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ**

Аннотация. Статья посвящена построению модели влияния технического состояния топливной аппаратуры на вибрационные показатели блока цилиндров дизельного двигателя. Для построения данной модели необходимо рассмотреть факторы, влияющие на изменение этих показателей. В первую очередь это будут регулирование и неисправности топливной системы, которые прогрессируют с увеличением срока службы двигателя. В статье рассматривается влияние неисправностей топливной аппаратуры на смену индикаторных показателей работы двигателя, что в свою очередь приводит к изменению сил, которые в нем действуют и как следствие оказывают влияние на вибрационные показатели блока цилиндров двигателя.

Ключевые слова: диагностирование, моделирование, вибрационные характеристики, распознавания.

**CHANGE INDICATOR DIAGRAM DIESEL
ENGINE FAULT SIMULATION FUEL
EQUIPMENT**

Annotation. The article is devoted to the construction of a model of a technical condition of the fuel equipment vibration impact on the performance of the diesel engine cylinder block. To build this model, you need to consider the factors influencing the change in these indicators. First of all it will be deregulation and malfunction of the fuel system, which progresses with increasing engine life. The paper examines the impact of fuel equipment malfunctions replace the indicator parameters of the engine, which in turn leads to a change in the forces that act in it and as a consequence have an effect on the vibration performance of the engine cylinder block.

Key words: diagnostics, simulation, vibration characteristics, recognition.