

**Борисюк Д.В., старший викладач кафедри автомобілів та
транспортного менеджменту, к.т.н.
Зелінський В.Й., асистент кафедри автомобілів та
транспортного менеджменту
Березняк М.С., магістрант кафедри автомобілів та
транспортного менеджменту**
Вінницький національний технічний університет

ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВІ ЗВ'ЯЗКИ ПАРАМЕТРІВ ОСНОВНИХ РЕСУРСНИХ ГРУП ДВИГУНА ЯМЗ-238

Вступ. Відмови систем та механізмів двигуна внутрішнього згорання стоять в ряду перших із загального числа відмов автотракторної техніки [1, 2]. Для їх визначення використовується значна кількість методів і засобів діагностування.

Методи визначення технічного стану дизельних двигунів, що використовуються на практиці, як правило, вимагають часткового розбирання вузла або агрегату, а будь-яка розбирально-складальна операція, навіть якщо деталь не ремонтується, знижує термін служби вузла до 15-20% [3]. Тому для визначення технічного стану двигунів необхідно використовувати сучасні безконтактні та нерозбірні методи діагностування, які засновані на аналізі вихідних параметрів, функціонально пов'язаних зі структурними параметрами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час діагностування дизельних двигунів здійснюється декількома методами із застосуванням різного устаткування. Великий внесок у розробку методів і засобів діагностування дизельних двигунів внесли: Астахов І.В. [4], Баширов Р.М. [5], Бишов М.В. [6], Ждановський М.С. [7], Загородських Б.П. [8], Кокорев Г.Д. [9], Николаенко О.В. [10], Успенський І.А. [11] та ін. Методи технічного діагностування дизельних двигунів, що отримали поширення, як правило, виконуються при їх частковому розбиранні.

Застосування сучасних безконтактних і нерозбірних методів діагностування, заснованих на аналізі вихідних параметрів дизеля, функціонально пов'язаних з його структурними параметрами, дозволить вирішити завдання зниження трудомісткості робіт, якості діагностування, однак, вони досліджені недостатньо.

Питанням проектування систем діагностування присвячені роботи Глазунова Л.П. [12], Біргера І.А. [13], Карибського В.В. [14], Нікіфорова С.Н. [15], Мірошникова Л.В. [16], Сергеева А.Г. [17] та ін.

Аналіз літературних і наукових джерел показав, що існуючі методи та засоби діагностування двигунів внутрішнього згорання, не в повній мірі відповідають сучасним вимогам щодо визначення їх поточного технічного стану, що вимагає розробки математичних моделей автоматизації процесу діагностування їх основних частин.

Отже, процес визначення технічного стану автотракторних двигунів ЯМЗ-238 та його автоматизація є актуальною науково-технічною задачею.

Мета дослідження. Метою дослідження є контроль технічного стану такого важливого агрегату транспортного засобу, як двигун внутрішнього згорання ЯМЗ-238, за рахунок створення автоматизації процесу діагностування його вузлів та деталей на основі причинно-наслідкових зв'язків параметрів основних його ресурсних груп.

Основна частина. Двигуни виробництва ПАТ «Автодизель» (ЯМЗ) – це двигуни багатопільового призначення. Технічні характеристики, універсальність, висока ступінь уніфікації і ремонтпридатність сприяють їх широкому застосуванню на автомобілях та інших енергетичних засобах різного призначення.

Найбільшого поширення серед двигунів ПАТ «Автодизель» (ЯМЗ) має сімейство дизелів ЯМЗ-238. Якщо дивитися на двигун ЯМЗ-238, то від сімейства двигунів ЯМЗ-236 він відрізняється незначно – до V-подібного шестициліндрового агрегату додали по одному циліндру в кожен ряд, отримавши при цьому восьмициліндровий двигун.

Всі восьмициліндрові двигуни серій ЯМЗ-238, незалежно від наявності турбонаддуву мають однаковий об'єм (14,86 л), діаметр циліндра (130 мм) та хід поршня (140 мм) [18, 19].

Вирішення задачі автоматизації логічного процесу постановки діагнозу вимагає розробки моделей елементів двигуна внутрішнього згорання як об'єктів діагностування, що описують на одному математичному рівні взаємозв'язки між безліччю можливих несправностей і безліччю значень діагностичних параметрів [20, 21].

Для виявлення причинно-наслідкових зв'язків між конструктивними елементами двигуна ЯМЗ-238, які характеризують його фактичний технічний стан, використовувалися структурно-наслідкові моделі

взаємозв'язків контрольованих параметрів. Застосовуючи метод декомпозиції до структури об'єкта дослідження, виділяють причинно-наслідкові зв'язки між основними ресурсними групами об'єкта, їх дефектами і контрольованими параметрами (діагностичні, структурні і розмірні), що характеризують фактичний технічний стан об'єкта дослідження.

При розробці структурно-наслідкових моделей для основних ресурсних груп (циліндропоршнева група (ЦПГ), кривошипно-шатунний механізм (КШМ), газорозподільний механізм (ГРМ)) двигунів ЯМЗ-238 використовувалася інформація про їх конструкції і функціонування їх окремих механізмів і підсистем. Для визначення номенклатури структурних і діагностичних параметрів використовувалися рекомендації ДСТУ 9118:2021 [22].

Отримані структурно-наслідкові моделі основних ресурсних груп механізмів двигунів ЯМЗ-238 (ЦПГ, КШМ, ГРМ) представляють собою багаторівневі спрямовані граfi (рис. 1 – 3). На першому рівні знаходяться основні дефекти відповідних вузлів, що викликають відхилення від номінальних значень конструктивних параметрів двигуна. Другий, третій і четвертий рівні займають відповідно розмірні, структурні і діагностичні параметри об'єкта контролю (табл. 1), які є визначальними для його фактичного технічного стану.

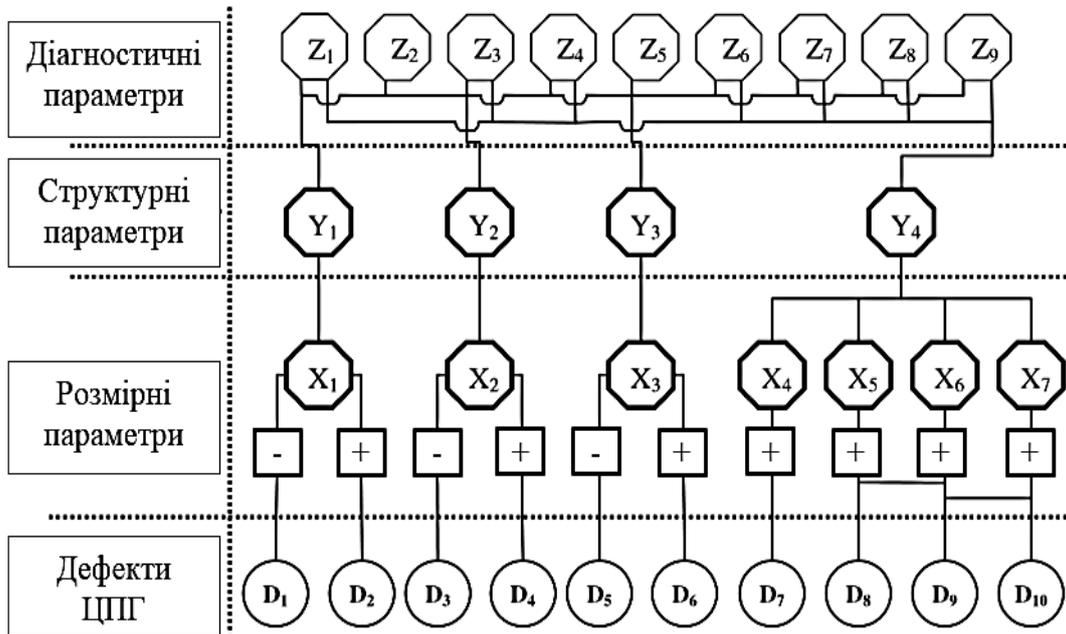


Рис. 1 – Граф-модель взаємозв'язків контрольованих параметрів ЦПГ двигуна ЯМЗ-238 і її дефектів

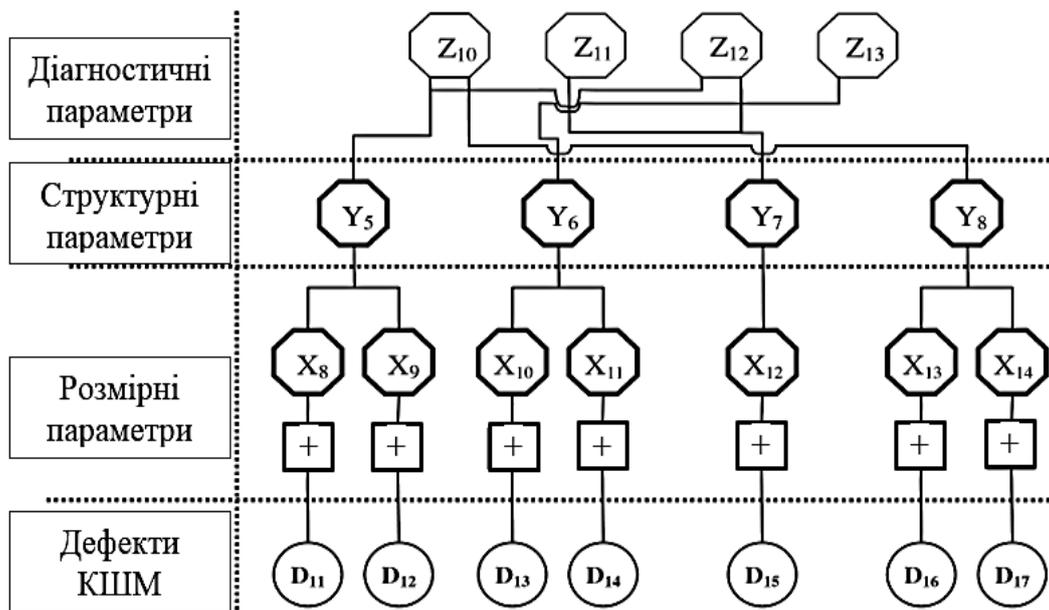


Рис. 2 – Граф-модель взаємозв'язків контрольованих параметрів КШМ двигуна ЯМЗ-238 і його дефектів

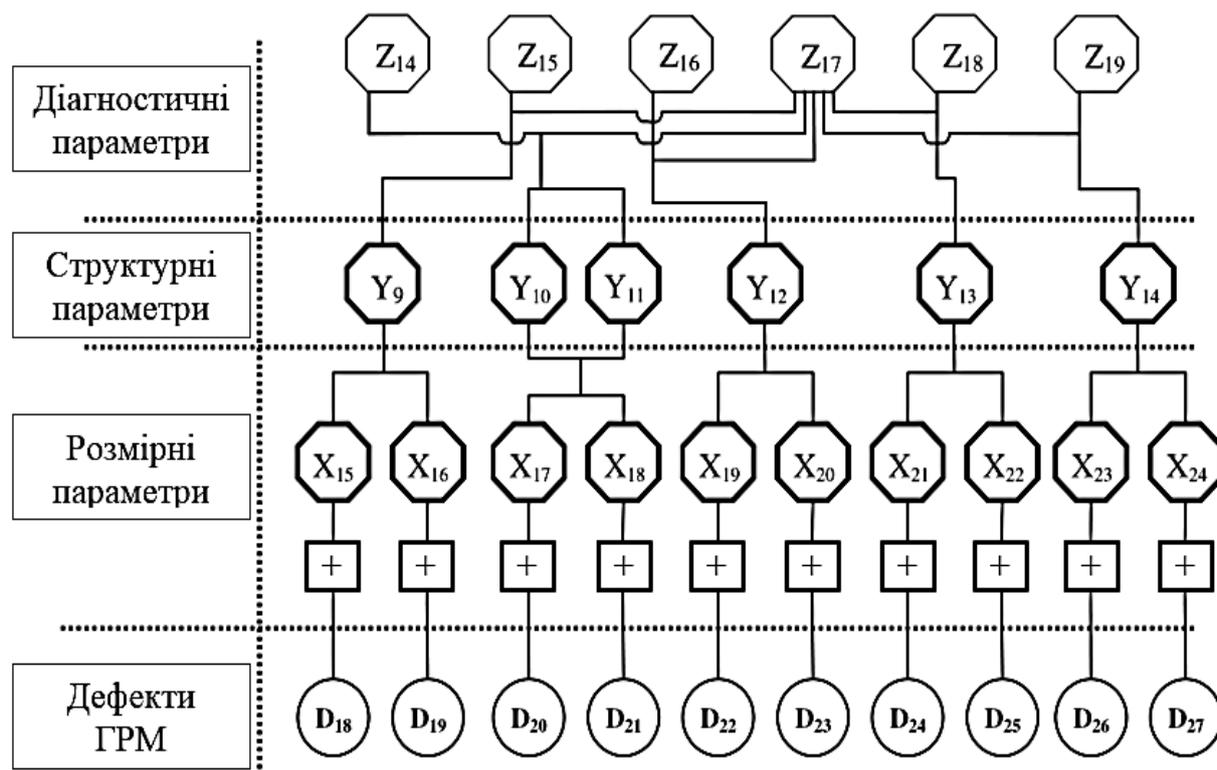


Рис. 3 – Граф-модель взаємозв'язків контрольованих параметрів ГРМ двигуна ЯМЗ-238 і його дефектів

Таблиця 1 – Специфікація параметрів

Позначення	Найменування
1	2
Циліндро-поршнева група	
1. Діагностичні параметри	
Z ₁	Кількість газів, що прориваються в картер
Z ₂	Компресія
Z ₃	Значення витоку повітря в ВМТ
Z ₄	Значення витоку повітря в НМТ
Z ₅	Різниця значень витоку повітря в ВМТ і НМТ
Z ₆	Кількісний та якісний склад елементів зносу вмаслі
Z ₇	Розрядження у впускному трубопроводі
Z ₈	Димність вихлопу
Z ₉	Потужність двигуна
2. Структурні параметри	
Y ₁	Зазор між поршнем і першим компресійним кільцем
Y ₂	Зазор між поршнем і другим компресійним кільцем
Y ₃	Зазор між поршнем і третім компресійним кільцем
Y ₄	Зазор між гільзою і юбкою поршня
3. Розмірні параметри	
X ₁	Висота першого компресійного кільця
X ₂	Висота другого компресійного кільця
X ₃	Висота третього компресійного кільця
X ₄	Діаметр юбки поршня
X ₅	Діаметр гільзи циліндра в верхньому поясі
X ₆	Діаметр гільзи циліндра в нижньому поясі
X ₇	Діаметр гільзи в поперечній площині

1	2
4. Дефекти ЦПГ	
D ₁	Знос канавки поршня під перше компресійне кільце
D ₂	Знос першого компресійного кільця
D ₃	Знос канавки поршня під друге компресійне кільце
D ₄	Знос другого компресійного кільця
D ₅	Знос канавки поршня під третє компресійне кільце
D ₆	Знос третього компресійного кільця
D ₇	Знос юбки поршня
D ₈	Знос гільзи циліндра
D ₉	Конусність гільзи циліндра
D ₁₀	Овальність гільзи циліндра
Кривошипно-шатунний механізм	
1. Діагностичні параметри	
Z ₁₀	Величина сумарного зазору в шатунному підшипнику
Z ₁₁	Осьове переміщення колінчастого вала
Z ₁₂	Кількісний та якісний аналіз елементів зносу в маслі
Z ₁₃	Значення тиску в головній масляній магістралі
2. Структурні параметри	
Y ₅	Зазор у з'єднанні «шатуна шийка – вкладиш»
Y ₆	Зазор у з'єднанні «корінна шийка – вкладиш»
Y ₇	Зазор в упорному підшипнику
Y ₈	Зазор у з'єднанні «поршневий палець – втулка»
3. Розмірні параметри	
X ₈	Висота шатунного вкладиша
X ₉	Діаметр шатунної шийки
X ₁₀	Висота корінного вкладиша
X ₁₁	Діаметр корінної шийки
X ₁₂	Ширина задньої корінної шийки
X ₁₃	Діаметр поршневого пальця
X ₁₄	Діаметр втулки верхньої головки шатуна
4. Дефекти КШМ	
D ₁₁	Знос шатунних вкладишів
D ₁₂	Знос шатунних шийок колінчастого вала
D ₁₃	Знос корінних вкладишів
D ₁₄	Знос корінних шийок колінчастого вала
D ₁₅	Знос задньої корінної шийки по ширині
D ₁₆	Знос поршневого пальця
D ₁₇	Знос втулки верхньої головки шатуна
Газорозподільчий механізм	
1. Діагностичні параметри	
Z ₁₄	Кількісний та якісний аналіз елементів зносу в маслі
Z ₁₅	Витік стисненого повітря
Z ₁₆	Потужність двигуна
Z ₁₇	Димність вихлопу
Z ₁₈	Прорив газів в картер

Продовження таблиці 1

1	2
Z ₁₉	Тиск масла в головній масляній магістралі
2. Структурні параметри	
Y ₉	Тепловий зазор в клапанному механізмі
Y ₁₀	Фази газорозподілу
Y ₁₁	Зазор в шестернях приводу механізму ГРМ
Y ₁₂	Порушена щільність клапанів
Y ₁₃	Зазор у з'єднанні «стрижень клапана – направляюча втулка»
Y ₁₄	Зазор у з'єднанні «шийка розподільного вала – втулка опори»
3. Розмірні параметри	
X ₁₅	Висота носка коромисла
X ₁₆	Висота торця клапана
X ₁₇	Висота кулачка
X ₁₈	Товщина зубів приводу ГРМ
X ₁₉	Висота профілю фаски клапана
X ₂₀	Висота профілю фаски сідла клапана
X ₂₁	Внутрішній діаметр направляючих втулок
X ₂₂	Діаметр стержня клапана
X ₂₃	Діаметр втулок опор
X ₂₄	Діаметр шийок
4. Дефекти ГРМ	
D ₁₈	Знос бойка коромисла
D ₁₉	Знос торця стержня клапана
D ₂₀	Знос кулачків розподільного вала
D ₂₁	Знос розподільних шестерень
D ₂₂	Знос або вигорання робочих фасок клапана
D ₂₃	Знос або вигорання робочих фасок сідла клапана
D ₂₄	Знос напрямних втулок
D ₂₅	Знос стержня клапана
D ₂₆	Знос втулок опор розподільного вала
D ₂₇	Знос шийок опор розподільного вала

Побудова структурно-наслідкових моделей взаємозв'язків контрольованих параметрів для основних ресурсних груп двигуна ЯМЗ-238 здійснювалося на основі його конструкторської документації та інформації про функціонування його окремих механізмів та підсистем.

Висновки.

1. В ході аналізу останніх досліджень і публікацій з представленої теми встановлено, що конкретних структурно-наслідкові моделі основних ресурсних груп механізмів двигунів ЯМЗ-238 (ЦПГ, КШМ, ГРМ) не виявлено.

2. Розроблені структурно-наслідкові моделі для основних ресурсних груп двигунів ЯМЗ-238 дозволяють оцінити його технічний стан на етапах передремонтного діагностування та операційного контролю.

3. Велика кількість включених в структурно-наслідкові моделі параметрів дозволяє сформувати сукупність контрольно-діагностичних параметрів, використовуваних при централізованому ремонті за технічним станом об'єкта контролю на етапі передремонтного діагностування.

Література

1. Соснин Д. А. Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей. Москва: СОЛОН-Пресс, 2008. 272 с.
2. Komorska I. Diagnostic-Oriented Vibroacoustic Model of the Reciprocating Engine. *Solid State Phenomena*. 2012. Vol. 180. P. 214-221.
3. Ждановский Н. С., Николаенко А. В. Надежность и долговечность автотракторных дизелей. Ленинград: Колос, 1981. 295 с.
4. Астахов И. В. Физические основы процесса впрыска топлива в дизелях. *Труды МАДИ. Автотракторные двигатели внутреннего сгорания*. 1979. С. 37-52.
5. Баширов Р. М. Оптимизация состава машинно-тракторного парка и распределения агрегатов по видам работ. Уфа: Издательство БГАУ, 2000. 113 с.
6. Бышов Н. В., Борычев С. Н., Аникин Н. В. и др. Перспективы технической эксплуатации мобильных средств сельскохозяйственного производства. Рязань: Издательство РГАТУ, 2015. 191 с.
7. Ждановский Н. С., Аллилуев В. А., Николаенко А. В. и др. Диагностика автотракторных двигателей. Ленинград: Колос, 1977. 264 с.
8. Загородских В. П., Хатько В. В. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных двигателей. Москва: Россельхозиздат, 1986. 139 с.
9. Кокорев Г. Д. Повышение эффективности системы технической эксплуатации автомобилей в сельском хозяйстве на основе инженерно-кибернетического подхода : дис. ... докт. техн. наук : 05.20.03 / ФГБОУВО «РГАУ им. П. А. Костычева». Рязань, 2014. 475 с.
10. Николаенко А. В., Хватов В. Н. Повышение эффективности использования дизелей в сельском хозяйстве. Ленинград: Агропромиздат. Ленинградское отд-ние, 1989. 191 с.
11. Успенский И. А., Синицин П. С., Кокорев Г. Д. Основные принципы диагностирования МСХТ с использованием современного диагностического оборудования. *Сборник научных работ студентов РГАТУ. Материалы научно-практической конференции*. 2011. Т. 1. С. 263-269.
12. Глазунов Л. П., Смирнов А. Н. Проектирование технических систем диагностирования. Ленинград: Энергоатомиздат, 1982. 168 с.
13. Биргер И. А. Техническая диагностика. Москва: Машиностроение, 1978. 240 с.
14. Карибский В. В., Пархоменко П. П., Согомоян Е. С. Техническая диагностика объектов контроля. Москва: Энергия, 1967. 80 с.
15. Никифоров С. Н. Теория параллельного диагностирования. Дискретные объекты. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 144 с.
16. Мирошников Л. В., Болдин А. П., Пал В. И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. Москва: Транспорт, 1977. 264 с.
17. Сергеев А. Г. Точность и достоверность диагностики автомобиля. Москва: Транспорт, 1980. 191 с.
18. Руководство по ремонту на двигатели ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 всех комплектаций и исполнений (236.01.01 РК). Ярославль: ОАО «Автодизель», 2014. 287 с.
19. Двигатели ЯМЗ-236М2, ЯМЗ-238М2 (236-3902150-Б РЭ). Ярославль: ОАО «Автодизель», 2010. 172 с.
20. Д.В. Борисюк. Математична модель процесу діагностування *турбокомпресора ЯМЗ-650.1118011*. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2021. Випуск 2 (13). – С. 1-13. – URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/634/596>
21. Борисюк Д.В., Зелінський В.Й., Твердохліб І.В., Полевода Ю.А. Математична модель автоматизації процесу діагностування двигунів внутрішнього згорання сімейства ЯМЗ-238. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. №4 (115). С. 12-23.
22. ДСТУ 9118:2021. Технічна діагностика. Діагностування технічного стану матеріалів конструкцій. Загальні вимоги. [Чинний від 2022-01-07]. Вид. офіц. Київ, 2021.