

ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО НАДІЙНОСТІ АВТОТРАКТОРНОГО ДВИГУНА З ВИМКНЕННЯМ ЦИЛІНДРІВ ЯК СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ

А. Молодан, канд. техн. наук., доц.,

e-mail: and_1979@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0017-740X>,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

А. Коробко, канд. техн. наук., доц.,

e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>,

Харківська філія ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Мета роботи: Визначення максимально допустимого числа вимкнених циліндрів, яке може приводити не тільки до зниження потужності двигуна, але і зниження надійності роботи складових його вузлів і агрегатів.

Методи дослідження. Класифікація категорії відмов автотракторного двигуна та ранжування за тяжкістю наслідків від відмов циліндрів за своєю суттю і різними сценаріями розвитку подій, з настанням тієї чи іншої відмови двигуна колісної машини; визначення обмежень, які можуть бути використані для визначення параметрів двигуна з вимкненням циліндрів, які призводять до його зупинки через малі оберти і до відсутності можливості управління колісною машиною; визначення граничної потужності, за якої можна побудувати обмежувальну характеристику так, щоб вона перетинала гвинтову характеристику в точці мінімально можливих обертів двигуна, при цьому робота двигуна на тягові колеса була б ще можлива.

Результати дослідження. З настанням тієї чи іншої відмови двигуна колісної машини виникають різні наслідки за тяжкістю відмов циліндрів за своєю суттю і різними сценаріями розвитку подій. Обмеження, які можуть бути використані для визначення параметрів двигуна з вимкненням циліндрів, призводять до його зупинки через малі оберти і до відсутності можливості управління колісною машиною. Постійне вишукування шляхів зниження мінімально сталої частоти обертання, мабуть незабаром призводить до ситуації, коли величина буде регламентуватися (визначатися) не протіканням робочого процесу в циліндрах двигуна, а керованістю колісної машини, тобто можливістю ефективної роботи рульових пристроїв, особливо для машин з відносно невисокою номінальною швидкістю ходу.

Висновки. З вимкненням циліндра ефективна потужність двигуна зменшується на величину індикаторної потужності, яка розвивається у вимкненому циліндрі, оскільки можна вважати, що потужність, яка витрачається на подолання механічних втрат у двигуні, залишається незмінною. Останнє значення m , за якого виконується умова $N_{em} > N_{e_{гр}}$ є максимально допустимим числом вимкнених циліндрів діагностичної моделі двигуна, яка реалізує «м'який» сценарій.

Ключові слова: надійність, оцінка, автотракторний двигун, зміна потужності, колісна машина, вимкнення циліндрів.

Постановка проблеми. Справним вважається такий стан двигуна [1-4], за якого він відповідає всім вимогам нормативно-технічної і конструкторської документації. Якщо хоча б одну з цих вимог порушено, двигун вважається несправним або частково працездатним. Однак несправний двигун може бути працездатним і виконувати функції джерела енергії

на колісній машині. Скажімо, за відмови декількох циліндрів двигун перебуває в несправному стані, але він зберігає свою працездатність [5-7]. Раптові часткові відмови можуть призвести до некерованого або вимушеного зниження ефективної потужності і частоти обертання, але не будь-яка з числа таких відмов призводить до небезпечного стану двигуна. Для

робочого двигуна небезпечний стан – це стан, за якого його потужність і оберти опускаються нижче граничних значень $N_{e_{гр}}$ і $n_{гр}$, відповідно, незалежно від причин, які викликали неприпустиме зниження параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час аналізу літератури з'ясовано [8, 9], що з вимкненням циліндрів у двигуні реалізуються складні процеси через зниження параметрів газу у випускному та впускному колекторах, а це призводить до додаткового зниження потужності двигуна. Особливо яскраво цей процес виражений у двигунах з відносно невеликою кількістю циліндрів. У роботі [10] зроблено більш детальний аналіз цієї ситуації і наведено залежності, які можуть бути використані для визначення N_{em} . Наприклад, аналіз розрахунків колінчастих валів автотракторних двигунів [11] показує, що вимкнення циліндрів може призвести до зменшення коефіцієнтів запасу у галтелях корінних і шатунних шийок і в мастильних отворах шатунних шийок. Це пов'язано з тим, що вимкнення деяких циліндрів супроводжується збільшенням ступеня нерівномірності обертання колінчастого вала і, отже, збільшенню амплітуди діючих напружень.

Мета дослідження – визначення максимально допустимого числа вимкнених циліндрів, яке може приводити не тільки до зниження потужності двигуна, але і зниження надійності роботи складових його вузлів і агрегатів.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких завдань:

- класифікувати категорії відмов автотракторного двигуна та ранжувати за тяжкістю наслідків види відмов циліндрів за своєю суттю і різними сценаріями розвитку подій з настанням тієї чи іншої відмови двигуна колісної машини;

- визначити обмеження, які можуть бути використані для визначенні параметрів двигуна з вимкненням циліндрів, що призводять до його зупинки через малі оберти і до відсутності можливості управління колісною машиною;

- визначити граничну потужність, за якої можна побудувати обмежувальну характеристику так, щоб вона перетинала гвинтову характеристику в точці мінімально можливих обертів двигуна, при цьому робота двигуна на тягові колеса була б ще можлива.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглядаючи різні експлуатаційні стани двигуна з різною кількістю вимкнених циліндрів, бажано провести ранжування відмов відповідно до категорій значущості наслідків: катастрофічні; важкі (небезпечні); значні; несуттєві.

Природно, що кожна категорія значимістю відповідає певному сценарію розвитку подій. До категорії «катастрофічні» слід віднести стан автотракторного двигуна, за якого неможливо підтримати ефективну потужність і частоту обертання на рівні, який забезпечує керованість колісної машини незалежно від кількості циліндрів, які працюють $N_e \leq N_{e_{гр}}$ або $n \leq n_{гр}$. Сюди ж відноситься і повна зупинка двигуна.

Категорія «значні» характеризується відмовою одного або декількох циліндрів двигуна, що призводить до зниження потужності або частоти обертання колінчастого валу нижче номінального рівня.

Категорія «несуттєві» – відмови, які не впливають на основні експлуатаційні характеристики двигуна.

Класифікація категорій відмов автотракторного двигуна наведена в таблиці 1, де ранжовані за тяжкістю наслідків види відмов циліндрів є за своєю суттю різними сценаріями розвитку подій з настанням тієї чи іншої відмови двигуна колісної машини. У графі «ознаки» наведено граничні умови, нижче яких двигун вважається несправним. Використовуючи так зване «дерево відмов», реалізоване у відповідній програмі, можна розрахувати ймовірність відмови двигуна для таких сценаріїв.

«Жорсткий» сценарій (критерії відмови «значні», «важкі»). За будь-якої кількості відмовлених циліндрів, яка приводить до вимушеного зниження потужності порівняно з номінальною, – двигун вважає-

Таблиця 1 – Класифікація категорій відмов циліндрів автотракторного двигуна

№ п/п	Категорія відмов	Наслідки для двигуна	Ознаки
1	Катастрофічні	Незворотні наслідки	$N_e < N_{e\text{гр}}$
2	Важкі	Небезпечне зниження характеристик двигуна, відмови такої кількості циліндрів, які не можуть бути усунені силами водія	$N_e(30 \text{ км/год}) \leq N_e \leq N_e(45 \text{ км/год})$
3	Значні	Значне збільшення операційних дій водія, які забезпечують стабільне підтримання знижених характеристик двигуна за мінімально допустимої кількості циліндрів, працюють	$N_e(30 \text{ км/год}) \leq N_e \leq N_{e\text{ном}}$
4	Неістотні	Несправності, які легко усуваються	$N_e = N_{e\text{ном}}$

ться несправним. Цьому сценарію відповідає використання в дереві подій тільки логічного зв'язку типу «АБО».

«М'який» сценарій (категорія відмови «катастрофічні»). Двигун вважається несправним за умови, що його зниженої ефективної потужності за мінімальної кількості циліндрів, які працюють, виявляється недостатньо для підтримки необхідного ходу, який дозволяє колісній машині пересуватися.

Граничне зниження потужності і частоти обертання автотракторного двигуна з вимкненими циліндрами за реалізації моделі «м'якого» сценарію, пов'язаного з експлуатацією автотракторного двигуна з вимкненими циліндрами, необхідно розглянути випадок гранично малої його потужності, за якої зберігається, з одного боку, стала робота двигуна, з іншого – прийнятна керованість колісною машиною.

Режим найменших обертів визначається, як один із найважливіших маневрених параметрів – можливо малу безпечну швидкість ходу колісної машини. Мінімальна швидкість залежить від мінімально стійкої частоти обертання n_{min} , яку циліндри, які працюють, здатні підтримувати за постійного положення органу по-

дачі палива. Отже, зазвичай, частота обертання n_{min} визначає нижню границю експлуатаційних режимів і є основним показником режиму найменшого ходу колісної машини.

Для двигунів, які працюють безпосередньо через трансмісію на колеса, n_{min} не повинна перевищувати $0,11-0,2 n_{\text{ном}}$ ($n_{\text{ном}}$ – номінальна частота обертання колінчастого вала двигуна) [12].

Стабільність роботи двигуна з вимкненими циліндрами на мінімальній частоті обертання залежить від

конструкційних та експлуатаційних факторів. Труднощі зменшення мінімально сталої частоти обертання обумовлені поєднанням малих частот обертання колінчастого вала і малих навантажень на дизель, близьких до значень холостого ходу. Дійсно, $n_{\text{min}} = 0,11-0,2 n_{\text{ном}}$, середній ефективний тиск становить лише $0,99 P_{e\text{ном}}$, а потужність зменшується до 2,7% від $N_{e\text{ном}}$. За частоти обертання нижче n_{min} порушується перебіг процесів впорскування, сумішоутворення і згорання палива, внаслідок чого виникають пропуски спалахів, самовимкнення окремих циліндрів, підвищена нерівномірність обертання вала і, нарешті, мимовільна зупинка двигуна.

Постійне вишукування шляхів зниження мінімально сталої частоти обертання, мабуть незабаром призведе до ситуації, коли величина n_{min} буде регламентуватися (визначатися) не протіканням робочого процесу в циліндрах двигуна, а керованістю колісної машини, тобто можливістю ефективної роботи рульових пристроїв, особливо для машин з відносно невисокою номінальною швидкістю ходу.

Сформульовані вище обмеження можуть бути використані для визначення

параметрів двигуна з вимкненням циліндрів призводять до його зупинки через малі оберти і до відсутності можливості управління машиною.

Вимкнення одного або декількох циліндрів можливе у разі пошкодження паливного насоса, форсунок, трубопроводу високого тиску, привода паливної апаратури, через що припиняється подача палива у відповідний циліндр, або у разі прогару клапана, відмови механізму привода клапанів, коли в циліндрі не відбувається спалах через малий тиск (а, отже, і температури, яка не досягає необхідного значення для самозаймання палива), або припинення процесу газообміну.

Роботу в таких умовах слід розглядати як аварійну, крім випадків навмисного вимкнення циліндрів, закладених у конструкцію двигуна виробником. Експлуатація двигуна з аварійно вимкненими циліндрами можлива у виняткових випадках; коли обставини не дозволяють зупинити двигун для проведення відповідного ремонту.

Природно, робота двигуна в розглянутому аварійному режимі буде характеризуватися зниженням ефективної потужності, що спричинить зменшення обертів ДВЗ (в граничному випадку – зупинку двигуна).

На рисунку 1 наведена гвинтова характеристика 1 для гвинта фіксованого кроку, яка, природно, залишається постійною за будь-яких змін у характеристиці двигуна, а також зовнішня 2 і регуляторна 8 характеристики двигуна.

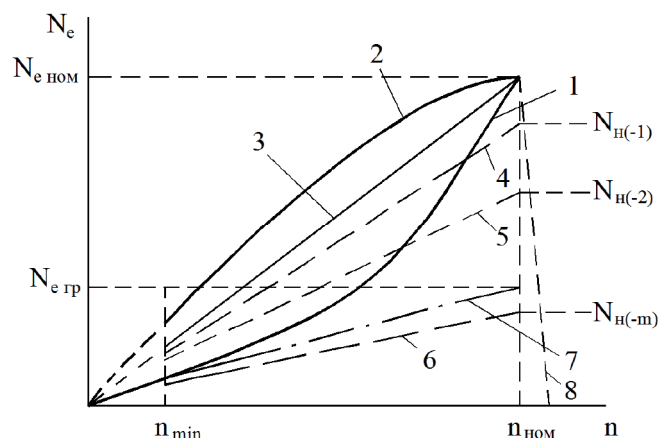


Рисунок 1 – Зміни обмежувальних характеристик двигуна за вимкнення циліндрів

Прийmemo обмежувальну характеристику двигуна (лінія 3 на рис. 1), побудовану на припущенні сталості крутного моменту M_e , який відповідає номінальній чи експлуатаційній потужності у всьому швидкісному діапазоні роботи двигуна

$$N_e = kM_e n = k'n, \quad (1)$$

де k і k' – коефіцієнти пропорційності, причому $k' = kM_e$.

У разі вимкнення одного циліндра потужність двигуна на номінальній частоті обертання колінчастого вала буде відповідати значенню $N_{н(-1)}$, і відповідна їй обмежувальна характеристика позначена 4 (рис. 1). Аналогічно, у разі вимкнення двох циліндрів двигун розвиває потужність $N_{н(-2)}$ і відповідна їй обмежувальна характеристика 5. Далі у разі вимкнення m циліндрів потужність $N_{н(-m)}$ відповідна обмежувальна характеристика 6. Перетин лінії 4 з лінією 1 дає значення максимальних обертів двигуна, досяжних у разі вимкнення одного циліндра і роботі двигуна на тягові колеса. Характеристика 6 не має перетинання з лінією 1 при $n > n_{\min}$, значить, у разі вимкнення m циліндрів двигун не зможе працювати на тягові колеса в межах сталих обертів.

Отже, постає задача визначення граничної потужності двигуна $N_{e гр}$, за якої можна побудувати обмежувальну характеристику двигуна 7 так, щоб вона перетинала гвинтову характеристику в точці мінімально можливих обертів двигуна n_{\min} , коли робота двигуна на тягові колеса ще можлива.

На рисунку 2 показана обмежувальна характеристика гранично малої потужності двигуна 1 з накладеною гвинтовою характеристикою 2, яка проходить через точку $N_{e ном}$ з частотою $n_{ном}$. Аналітичний опис гвинтової характеристики в загальному вигляді для колісних машин виглядає так:

$$N_e = k''n^3, \quad (2)$$

отже,

$$N_{e \min} = N_{e \text{ ном}} \left(\frac{n_{\min}}{n_{\text{ном}}} \right)^3. \quad (3)$$

Враховуючи рівняння розмірної характеристики (1), отримаємо вираз

$$N_{e \text{ гр}} = N_{e \min} \left(\frac{n_{\text{ном}}}{n_{\min}} \right). \quad (4)$$

Підставивши (3) в (4), отримаємо

$$N_{e \text{ гр}} = N_{e \text{ ном}} \left(\frac{n_{\min}}{n_{\text{ном}}} \right)^2. \quad (5)$$

Останній вираз можна прийняти як обмеження граничної мінімальної потужності, за якої можлива робота двигуна. Якщо прийняти $n_{\min} = 0,11-0,2 n_{\text{ном}}$, то

$$N_{e \text{ гр}} = 0,09 N_{e \text{ ном}}.$$

Отримане значення $N_{e \text{ гр}}$ дозволить перейти до вирішення задачі з визначення допустимого числа вимкнених циліндрів, при цьому зниження ефективної потужності двигуна нижче $N_{e \text{ гр}}$ буде розглядатися як його зупинка. Слід зазначити, що як гвинтова характеристика (яка на момент відмови циліндрів двигуна може бути і важкою, і легкою), так і потужність, яку розвиває двигун, можлива за його технічним станом, ϵ , за своєю суттю, випадковими величинами зі своїми характеристиками розподілу (рис. 2). Тому значення $N_{e \text{ гр}}$ – також випадкова величина.

З вимкненням циліндра ефективна

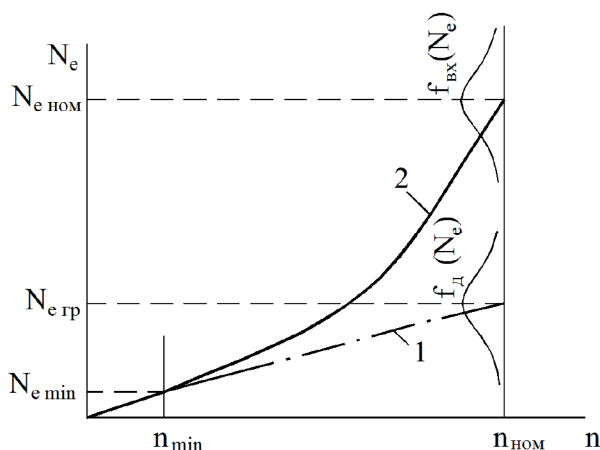


Рисунок 2 – Поєднання гвинтової і розмірної характеристики гранично малої потужності двигуна з вимкненими циліндрами

потужність двигуна зменшується на величину індикаторної потужності, яка розвивається у вимкненому циліндрі, оскільки можна вважати, що потужність, яка витрачається на подолання механічних втрат N_m в двигуні, залишається незмінною [13].

Вважаючи, що індикаторна потужність рівномірно розподіляється між циліндрами, можна вважати, що за відмови одного циліндра вона зменшується на N_{i0}/i , де i – число циліндрів.

Індикаторна потужність двигуна у разі вимкнення m циліндрів на постійній частоті обертання колінчастого валу

$$N_{im} = N_{i0} - \frac{m}{i} N_{i0} = N_{i0} \left(1 - \frac{m}{i} \right). \quad (6)$$

Ефективна потужність, яку зможе розвивати двигун у разі вимкнення одного циліндра

$$N_{e1} = N_e - \frac{1}{i} N_i. \quad (7)$$

Висловивши індикаторну потужність через ефективну, отримаємо:

$$N_{e1} = N_e \left(1 - \frac{1}{i \eta_m} \right), \quad (8)$$

де η_m – механічний ККД.

У разі вимкнення m циліндрів з i маємо

$$N_{em} = N_e \left(1 - m \frac{1}{i \eta_m} \right). \quad (9)$$

Отже, поступово збільшуючи m у формулі (9), отримуємо послідовність значень N_{em} . Ці значення порівнюємо з $N_{e \text{ гр}}$, визначеним за формулою (5). Останнє значення, за якого виконується умова $N_{em} > N_{e \text{ гр}}$, є максимально допустимим числом вимкнених циліндрів діагностичної моделі двигуна, яка реалізує «м'який» сценарій.

Розглядаючи питання про наслідки впливу вимкнення (у тому числі аварійного) циліндрів на показники його надійності, слід зазначити таке. Вимкнення циліндрів може приводити не тільки до зниження потужності двигуна, але і зниження надійності роботи складових його вузлів і агрегатів. Максимально допустиме число вимкнених циліндрів визначається

аналогічно описаному вище випадку.

Висновки.

1. Проведена класифікація категорії відмов автотракторного двигуна та проведено ранжування за тяжкістю наслідків видів відмов циліндрів за своєю суттю і різними сценаріями розвитку подій, з настанням тієї чи іншої відмови двигуна колісної машини.

2. Визначені обмеження, які можуть бути використані для визначення параметрів двигуна з вимкненням циліндрів, які призводять до його зупинки через малі оберти і до відсутності можливості управління колісною машиною.

3. Визначена гранична потужність, за якої можна побудувати обмежувальну характеристику так, щоб вона перетинала гвинтову характеристику в точці мінімально можливих обертів двигуна, при цьому робота двигуна на тягові колеса була б ще можлива.

4. Визначена максимально допустима кількість вимкнених циліндрів, яка може приводити не тільки до зниження потужності двигуна, але й зниження надійності роботи складових його вузлів і агрегатів.

Література

1. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89. – [Введен в действие с 1990-01-07]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 33 с. – (Стандарт СССР).

2. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.

3. Хазов Б.Ф. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования / Б. Ф. Хазов, Б.А. Дидусев. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

4. Goodell F.S. Reliability and Maintainability by Design: A Blue-Print for Success. Journal of Aircraft, v. 24, № 8. – 1987. – p. 481-483.

5. Проников А. С. Надежность машин / А. С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.

6. Решетов Д. Н. Надежность машин / Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.

7. Коробко А., Молодан А. Зміна потужності і витрати палива двигуна колісної машини під час вимикання частини його циліндрів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України. Збірник наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого, 2018. Вип. 22 (36). С. 268-274. DOI: 10.31473/2305-5987-2018-1-22(36)-266-272

8. Молодан А. О. Зміна енергетичних параметрів двигуна в режимі роботи без навантаження при відключенні циліндрів / А. О. Молодан, О. С. Полянський // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Механізація сільсько-господарського виробництва: Зб. наук. праць, Вип. 190. – Харків, 2018. – С. 152-161.

9. Молодан А. О. Вплив відключення частини циліндрів на режим роботи двигуна під навантаженням / А. О. Молодан // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка: Проблеми надійності машин. – Вип. 192. – Харків 2018. – С. 195-203.

10. Семионичев С. Р. Определение мощности судового дизеля с наддувом при отключении цилиндров / С. Р. Семионичев // Морской вестник. – 2003. – Специальный выпуск №1(1). – С 83-85.

11. Кочаев В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В. П. Кочаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.

12. Иващенко Н. А. Прогнозирование температурных полей деталей поршневых двигателей: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / Н. А. Иващенко – Москва, 1994. – 32 с.

13. Брук М. А. Режимы работы судовых дизелей / М. А. Брук, А. А. Рихтер. – Л.: Судпром, 1963. – 482 с.

Literature

1. Reliability in technology. The ba-

sic concepts. Terms and definitions: GOST 27.002-89. - [Implemented from 1990-01-07]. - M.: Publishing house of standards, 1989. - 33 p. - (USSR Standard).

2. Bolotin V.V. Forecasting the resource of machines and structures. - M.: Mashinostroenie, 1984. - 312 p.

3. Khazov B. F. Handbook for calculating the reliability of machines at the design stage / B. F. Khazov, B. A. Didusev. - M.: Mashinostroenie, 1986. - 224 p.

4. Goodell F. S. Reliability and Maintainability by Design: A Blue-Print for Success. Journal of Aircraft, v. 24, № 8. - 1987. - p. 481-483.

5. Pronikov A. S. Reliability of machines / A. S. Penetrated. - M.: Mashinostroenie, 1978. - 592 p.

6. Reshetov D. N. Reliability of machines / D. N. Reshetov, A. S. Ivanov, V. Z. Fadeev. - M.: Higher School, 1988. - 238 p.

7. Korobko A., Molodan A. Change of power and fuel consumption of the engine of a wheeled car during shutdown of part of its cylinders. Techno-technological aspects of development and testing of new technology and technologies for agricultural production in Ukraine. Collection of scientific works. UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo - Doslidnitske. - 2018. Ed. 22 (36). Pp. 268-274. DOI: 10.31473 / 2305-5987-2018-1-22 (36) - 266-272.

8. Molodan A. O. Change of power parameters of the engine in the mode of operation without load at disconnection of cylinders / A. O. Molodan, O. S. Polyansky // Bulletin of KhNTUSG them. P. Vasilenko. Mechanization of agricultural production: Zb. sciences works, Vol. 190. - Kharkiv, 2018. - PP. 152-161.

9. Molodan A. O. Influence of disconnection of a part of cylinders on a mode of work of the engine under loading / A. O. Molodan // Bulletin of KhNTUSG them. Petr Vasilenko: Problems of Machine Reliability. - Vol. 192. - Kharkiv 2018. - PP. 195-203.

10. Semionichev S.R. Determination of power of a ship diesel engine with supercharging when cylinders are switched off / S.P. Semionichev // Maritime Bulletin. - 2003. - Special issue №1 (1). - PP. 83-85.

11. Kochaev V.P. Calculations of machine parts and structures for strength and durability / V.P. Kochayev, N.A. Makhutov, A.P. Goosenkov. - M.: Mashinostroenie, 1985. - 224 p.

12. Ivashchenko N.A. Prediction of temperature fields of piston engine parts: author. dis. Dr. tech. Sciences: spec. 05.04.02 «Heat engines» / N.A. Ivaschenko - Moscow, 1994. - 32 p.

13. Brook M.A. Modes of operation of ship diesel engines / M.A. Brooke, A.A. Richter - L.: Sudprom, 1963. - 482 p.

Literatura

1. Nadezhnost' v tehnikе. 1989. Osnovnye ponjatija. Terminy i opredelenija: GOST 27.002-89. [Vveden v dejstvie s 1990-01-07]. M.: Izd-vo standartov. 33 p. (Standart USSR).

2. Bolotin V.V. 1984. Prognozirovanie resursa mashin i konstrukcij. M.: Mashinostroenie. 312 p.

3. Hazov B.F. 1986. Spravochnik po raschetu nadezhnosti mashin na stadii proektirovanija / B.F. Hazov, B.A. Didusev. M.: Mashinostroenie. 224 p.

4. Goodell F.S. 1987. Reliability and Maintainability by Design: A Blue-Print for Success. Journal of Aircraft, v. 24, № 8. PP. 481-483.

5. Pronikov A.S. 1978. Nadezhnost' mashin / A.S. Pronikov. M.: Mashinostroenie. 592 p.

6. Reshetov D.N. 1988. Nadezhnost' mashin / D.N. Reshetov, A.S. Ivanov, V.Z. Fadeev. M.: Vysshaja shkola. 238 p.

7. Korobko A., Molodan A. Zmina potuzhnosti i vy`traty` paly`va dvy`guna kolisnoyi mashy`ny` pid chas vy`my`kannya chasty`ny` jogo cy`lindriv. Texniko-texnologichni aspekty` rozvy`tku ta vy`probuvannya novoyi texniki` i texnologij dlya sil`s`kogospodars`kogo vy`robnyc`tva Ukrayiny`. Zbirny`k naukovy`x prac`. UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo - Doslidnitske. - 2018. # 22 (36). S. 268-274. DOI: 10.31473/2305-5987-2018-1-22(36)-266-272.

8. Molodan A.O. 2018. Zmina energetychnykh parametriv dvyguna v rezhymi roboty bez navantazhennja pry vidkljuchenni

cylindriv / A.O. Molodan, O.S. Poljans'kyj // Visnyk HNTUSG im. P. Vasylenka. Mehanizacija sil's'ko-gospodars'kogo vyrobnytva: Zb. nauk. prac', Vol. 190. Kharkiv. PP. 152-161.

9. Molodan A.O. 2018. Vplyv vidkljuchennja chastyny cylindriv na rezhym roboty dvyguna pid navantazhennjam / A.O. Molodan // Visnyk HNTUSG im. Petra Vasylenka: Problemy nadijnosti mashyn. Vol. 192. Kharkiv. PP. 195-203.

10. Semionichev S.R. 2003. Opređenje moshhnosti sudovogo dizelja s nadduvom pri otkljuchenii cilindrov / S.R. Semionichev //

Morskoj vestnik. Special'nyj vypusk №1(1). PP. 83-85.

11. Kochaev V.P. 1985. Raschety detalej mashin i konstrukcij na prochnost' i dolgov-echnost' / V.P. Kochaev, N.A. Mahutov, A.P. Gusenkov. M.: Mashinostroenie. 224 p.

12. Ivashhenko N.A. 1994. Prognozirovanie temperaturnyh polej detalej porshnevnyh dvigatelej: avtoref. dis. dokt. tehn. nauk: spec. 05.04.02 "Teplovyje dvigateli" / N.A. Ivashhenko Moskva. 32 p.

13. Bruk M.A. 1963. Rezhimy raboty sudovyh dizelej / M.A. Bruk, A.A. Rihter. L.: Sudprom. 482 p.

UDC 621.08:629.017

KEY APPROACHES TO RELIABILITY OF THE AUTOTRACTOR ENGINE WITH SWITCHING OFF CYLINDERS AS A COMPLEX SYSTEM

A. Molodan, Ph. D., Associate Professor, Doctorate,
e-mail: and_1979@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0017-740X>,
Kharkiv national Automobile and Highway University

A. Korobko, Ph. D., Associate Professor,
e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>,
Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production" Kharkiv branch

Summary

Goal of the study is to determine the maximum allowable number of switched off cylinders, which can lead not only to a decrease in engine power, but also to a decrease in the reliability of the components and assemblies.

Research methods. To achieve this goal, the following tasks were solved: the categories of autotractor engine failures were classified and the ranking is carried out according to the severity of the cylinder failures consequences with different scenarios of events, with the onset of a particular failure of the wheeled machine engine; definition of restrictions that can be used in determining the parameters of the engine with the cylinders shutting down, which leads to its stop due to the low speed and to loss of control of the wheel machine; definition of limiting power at which the limiting characteristic can be constructed so that it crosses the helical characteristic in the point of the minimum possible engine speed, while the engine work on driving wheels would still be possible.

Results. Upon the occurrence of a particular failure of the wheeled vehicle engine, there are various consequences for the severity of cylinder failures in their nature and various scenarios. The search for ways to reduce the minimum steady speed of rotation, apparently, soon leads to a situation where the value will be regulated (determined) not by course of the work process in the engine cylinders but by the handling of the wheeled vehicle, that is the ability to effectively operate steering gear, especially for cars with relatively low nominal speed.

Conclusions. When the cylinder is turned off, the effective engine power is reduced by the amount of the indicator power that develops in the switched off cylinder, since it can be assumed that the

power expended to overcome the mechanical losses in the engine remains unchanged. The last value at which the condition is fulfilled is the maximum allowable number of switched off cylinders of the diagnostic engine model, which implements a "soft" scenario.

Keywords: reliability, evaluation, autotractor engine, power change, wheeled machine, cylinder disable.

УДК 621.08:629.017

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К НАДЕЖНОСТИ АВТОТРАКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЦИЛИНДРОВ КАК СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

А. Молодан, канд. техн. наук., доц.,
e-mail: and_1979@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0017-740X>,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

А. Коробко, канд. техн. наук., доц.,
e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>,
Харьковский филиал ГНУ «УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого»

Аннотация

Цель исследования. Определение максимально допустимого числа отключенных цилиндров, которое может приводить не только к снижению мощности двигателя, но и к снижению надежности работы составляющих его узлов и агрегатов.

Методы исследования. Классификация категорий отказов автотракторного двигателя и ранжирование по тяжести последствий отказов цилиндров по своей сути и различным сценариям развития событий, при наступлении того или иного отказа двигателя колесной машины; определение ограничений, которые могут быть использованы при определении параметров двигателя с отключением цилиндров, что приводит к его остановке из-за малых оборотов и отсутствия возможности управления колесной машиной; определение предельной мощности, при которой можно построить ограничительную характеристику так, чтобы она пересекала винтовую характеристику в точке минимально возможных оборотов двигателя, при этом работа двигателя на ведущие колеса была бы еще возможна.

Результаты исследования. При наступлении того или иного отказа двигателя колесной машины возникают различные последствия по тяжести отказов цилиндров по своей сути и различным сценариям развития событий. Ограничения, которые могут быть использованы при определении параметров двигателя с отключением цилиндров, что приводит к его остановке из-за малых оборотов и отсутствия возможности управления колесной машиной. Постоянное изыскание путей снижения минимально устойчивой частоты вращения, видимо вскоре приводит к ситуации, когда величина будет регламентироваться (определяться) не протеканием рабочего процесса в цилиндрах двигателя, а управляемости колесной машины, то есть возможностью эффективной работы рулевых устройств, особенно для машин с относительно невысокой номинальной скоростью хода.

Выводы. При выключении цилиндра эффективная мощность двигателя уменьшается на величину индикаторной мощности, которая развивается в выключенном цилиндре, так как можно считать, что мощность, затрачиваемая на преодоление механических потерь в двигателе, остается неизменной. Последнее значение m , при котором выполняется условие $N_{em} > N_{e_{гр}}$ является максимально допустимым числом отключенных цилиндров диагностической модели двигателя, что реализует «мягкий» сценарий.

Ключевые слова: надежность, оценка, автотракторный двигатель, изменение мощности, колесная машина, отключение цилиндров.