

УДК 629.083

ВПЛИВ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЧАСТИНИ ЦИЛІНДРІВ НА РЕЖИМ РОБОТИ ДВИГУНА ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

А.О. Молодан, к.т.н., доцент, докторант

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

При роботі двигуна на прикладі КамАЗ-740 під навантаженням, годинна витрата палива при відключенні тільки подачі палива менше на 7-0%, в інтервалі потужності від 0 до 22 кВт, внаслідок поліпшення процесу згорання, а потім стає більше.

Доведено, що при відключенні палива і усуненні насосних витрат ЦПП у відключених циліндрах часова витрата палива на малих режимах навантаження знижується порівняно з першим варіантом на 1,73 кг/год, або 21%, що пояснюється підвищенням індикаторного і механічного ККД, зниженням насосних витрат у відключених циліндрах.

Вступ

Роботоздатність двигуна визначають параметрами показників призначення, такими як потужність і витрата палива. В процесі експлуатації допустимо зниження ефективної потужності не більше ніж на 5% і підвищення витрати палива [1] (годинного) не більше ніж на 7% в порівнянні з номіналом.

При відмові роботи деяких циліндрів двигуна технологія їх відключення поки не отримала широкого розповсюдження. Причин тому кілька. Головні з них – ступінчастість регулювання, наявність дроселювання між режимами роботи, порушення температурного режиму і рівномірності зносу циліндрів.

Разом з тим питома вага операцій річної зайнятості швидкісних автомобілів, де реалізується підвищена (близька до номінальної) тяга, становить тільки 20%, а 80% часу їх використання припадає на транспортні та близькі до них за характером роботи, де реалізується тільки 20-60% встановленої потужності двигуна [2].

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Дослідженням режимів роботи автотракторних двигунів, а також впливу режимів роботи на динамічні і економічні показники, а також на надійність та довговічність автомобілів та тракторів присвячені роботи Е.А. Чудакова, В.Н. Болтінського, В.С. Фалькевича, Л.В. Клименко, Д.А. Рубця, В.М. Архангельського, М.І. Лурье та ін.

Згідно з дослідженнями [3] дизеля КамАЗ-740 повністю завантаженого автомобіля КамАЗ-5320 повною масою 16т. в умовах інтенсивного

міського руху, 62% часу двигун працює в діапазоні частот обертання 0,48-0,67 від номінальної частоти, а в області номінальної частоти обертання – не більше 2,5%.

При цьому ступінь використання потужності двигуна на транспортних роботах становить 25-30%. [2].

Як відомо [4], при малому навантаженні потужність двигуна використовується нераціонально $N_e = 25 - 90$ кВт, тобто необхідно підвищити ефективність роботи двигуна при малих навантаженнях для забезпечення підвищення економічності. Одним із способів підвищення ефективності є спосіб відключення частини працюючих циліндрів двигуна. Вплив відключення частини циліндрів дизеля на параметри його роботи вивчено недостатньо, в зв'язку з чим пропонується вплив відключення частини циліндрів на навантажувальні характеристики двигуна КамАЗ-740.

Мета та постановка задачі

Метою даного дослідження є визначення впливу відключення частини циліндрів на параметрів роботи дизельного двигуна при навантаженні.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення наступних задач:

- визначити взаємозв'язки між відключенням частини циліндрів дизельного двигуна КамАЗ-740 та його експлуатаційними параметрами роботи при навантаженні;
- визначити закономірність впливу усунення насосних втрат та відключення подачі палива в циліндро-поршневі групи відключених циліндрів на енергетичні показники роботи дизельного двигуна КамАЗ-740 при навантаженні.

Визначення параметрів роботи дизельного двигуна КамАЗ-740 при відключенні частини його циліндрів без навантаження

Стендові дослідження двигуна проводилися [5] в умовах авторемонтного виробництва ХАРЗ-110 та ХАРЗ-126 м. Харкова за посередньою участю кафедри «Технології машинобудування і ремонту машин» ХНАДУ. Гальмівний стенд був обладнаний вимірювальними пристроями та контрольною апаратурою згідно ГОСТ 14846-81 (СТ СЭВ 765-77) [5] і включав в себе електричну балансирну машину АКБ 101-4 за допомогою якої здійснювалося навантаження.

Характеристики знімалися за трьома варіантами випробувань при різних частотах обертання валу двигуна:

- 1 – випробування вихідного двигуна;
- 2 – випробування з відключенням тільки подачі палива у 1 та 4 і 6 та 7 циліндрах двигуна;

3 – випробування з відключенням подачі палива і відсутністю насосних втрат циліндро-поршневої групи (ЦПГ) у 1 та 4 і 6 та 7 відключених циліндрах двигуна.

Відомо, що навантажувальна характеристика – це залежність питомої витрати палива і інших показників роботи двигуна від ефективної потужності або від середнього ефективного тиску при постійній частоті обертання колінчастого валу. На рисунках 1 а, б представлені результати досліджень при частоті обертання колінчастого валу $n=2600$ хв⁻¹.

Годинна витрата палива (рис. 1 а) можна визначити по залежності [6]

$$\begin{aligned} G_{\text{п}} &= g_e \cdot N_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} \cdot \frac{P_e \cdot V_h \cdot z_p \cdot n}{30 \cdot \tau} = K \cdot \frac{P_e \cdot V_h \cdot z_p \cdot n}{\eta_e} = \\ &= K \cdot \frac{(P_i - P_{\text{мв}}) \cdot V_h \cdot z_p \cdot n}{\eta_i \cdot \eta_{\text{м}}}, \text{ кг/год} \end{aligned} \quad (1)$$

де $K = \frac{3600}{H_u \cdot 30 \cdot \tau} = \frac{3600}{42,7 \cdot 30 \cdot 4} = 0,7$ – постійна для даного двигуна;

$\tau=4$ – число тактів;

$H_u = 42,7$ – нижча теплота згоряння дизельного палива, МДж/кг;

g_e – питома ефективна витрата палива, г/кВт-год;

N_e – ефективна потужність, кВт;

P_e – середній ефективний тиск, МПа;

P_i – середнє індикаторне тиск, МПа;

$P_{\text{мв}}$ – умовний тиск механічних втрат, МПа;

η_e – ефективний ККД;

η – індикаторний ККД;

$\eta_{\text{м}}$ – механічний ККД;

V_h – об'єм одного циліндра в літрах;

n – частота обертання колінчастого валу, хв-1;

z_p – кількість працюючих циліндрів.

Годинна витрата палива G_{12} при відключенні тільки подачі палива (варіант 2) порівняно з варіантом 1 менше на 7-0%, в інтервалі потужності від 0 до 22 кВт, внаслідок поліпшення процесу згоряння, а потім стає більше. При відключенні палива і відсутності насосних втрат ЦПГ у відключених циліндрів (варіант 3) часова витрата палива G_{13} на малих режимах навантаження знижується порівняно з першим варіантом на 1,73 кг/год, або 21%, що пояснюється підвищенням індикаторного і механічного ККД,

зниженням насосних втрат у відключених циліндрах. При подальшому збільшенні ефективної потужності понад 110 кВт часова витрата палива стає вище, ніж у варіанті 1.

Циклову подачу палива $q_{ц}$ (рис. 1 а) можна визначити по залежності [6]

$$q_{ц} = \frac{10^4 \cdot G_{ц} \cdot \tau}{1,2 \cdot n \cdot z_p} = \frac{10^4 \cdot 4 \cdot G_{ц}}{1,2 \cdot n \cdot z_p} = 3,3 \cdot 10^4 \cdot \frac{G_{ц}}{z_p \cdot n}, \text{ мг/цикл.} \quad (2)$$

При зміні навантаження на номінальній частоті обертання колінчатого валу (2600 хв^{-1}) по всім варіантам випробувань циклова подача палива зростає, так як $G_{ц}$ збільшується, а $n = \text{const}$.

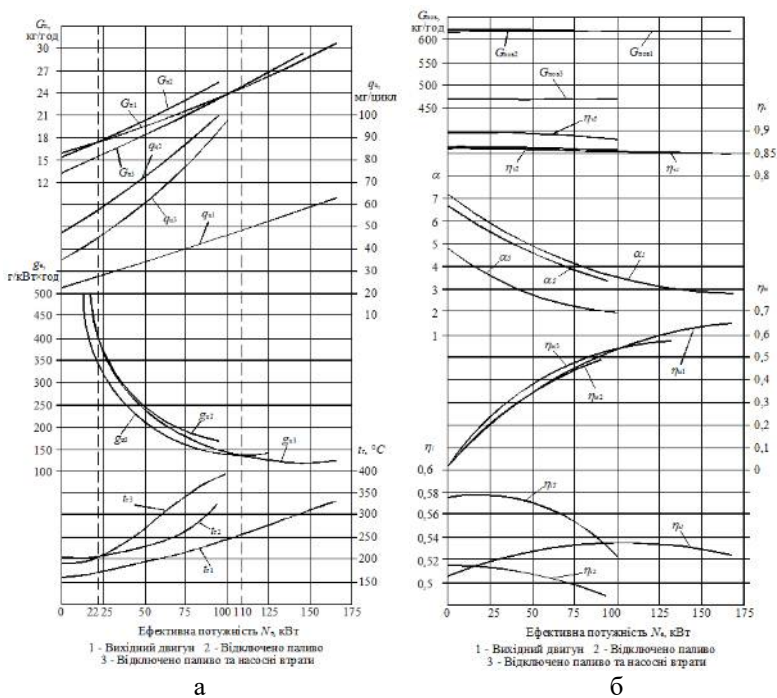


Рис. 1. Навантажувальна характеристика двигуна КамАЗ-740 ($n=2600 \text{ хв}^{-1}$): а – $G_{ц}$, $q_{ц}$, g_e , $t_2 = f(N_e)$; б – $G_{пов}$, η_v , α , η_m , $\eta_i = f(N_e)$

Крива циклової подачі при відключенні тільки палива (варіант 2) проходить вище вихідної, це пояснюється тим, що при відключенні подачі па-

лива у циліндрах для збереження частоти обертання валу двигуна і навантаження $q_{ц}$ була збільшена за рахунок акселератора.

Крива циклової подачі $q_{ц3}$ при відключенні палива і усуненні насосних втрат у 1 та 4 і 6 та 7 циліндрів розташовується трохи нижче, що пов'язано із зменшенням потужності механічних втрат на величину насосних втрат у чотирьох відключених циліндрах.

Питома ефективна витрата палива g_e (рис. 1а) при всіх варіантах випробувань на малих режимах навантаження, близько 1200-1400 хв⁻¹ дорівнює нескінченності, оскільки $\eta_m \approx 0$. У міру збільшення навантаження g_e різко зменшується, оскільки зростає механічний та індикаторний ККД [6]

$$g_e = \frac{G_n \cdot 10^3}{N_e} = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_m \cdot \eta_i}, \text{ г/кВт}\cdot\text{год.} \quad (3)$$

При другому варіанті випробувань порівняно з вихідним g_e не змінюється, а при відключенні палива і усуненні насосних втрат питома ефективна витрата палива g_{e3} найнижча з-за збільшення індикаторного і механічного ККД (рис. 1 б).

Температура відпрацьованих газів t_r (рис. 1 а) з підвищенням навантаження збільшується при всіх варіантах випробувань, причому за другим і третім варіантом t_r вище вихідного, так як змінюється кількість виділеного тепла через збільшення циклової подачі палива. При другому варіанті температура нижче, ніж при третьому через розведення відпрацьованих газів повітрям, що виходить з непрацюючих циліндрів.

Дійсна витрата повітря $G_{пов}$ (рис. 1 б) при всіх варіантах випробувань із збільшенням навантаження змінюється дуже незначно. Це викликано невеликим зниженням щільності повітря з-за нагріву у впускному колекторі. При відключенні тільки палива $G_{пов2}$ практично не змінюється в порівнянні з вихідним варіантом, а при третьому варіанті $G_{пов3}$ практично вдвічі нижче, ніж при першому і другому варіантах за рахунок відключення подачі свіжого заряду у 1 та 4 і 6 та 7 циліндрів.

Коефіцієнт наповнення $\eta_v = G_{пов} / G_{Тпов}$ (рис. 1 б) при всіх трьох варіантах практично не змінюється, оскільки співвідношення фактичного і теоретичного кількості повітря змінюються не суттєво.

Коефіцієнт надлишку повітря α (рис. 1 б) знижується внаслідок незначного зменшення дійсного витрати повітря і збільшення годинної витрати палива (рис. 1 а) [6]

$$\alpha = \frac{G_{пов}}{14,7 \cdot G_n} \quad (4)$$

При відключенні тільки палива (варіант 2) α_2 практично не змінюється. При відключенні палива і усуненні насосних втрат коефіцієнт надлишку повітря α_3 нижче, що пов'язано з істотним зниженням витрати повітря (через встановлення перепускного клапану у відключеному циліндрі двигуна), хоча і витрата палива теж знижується, особливо на робочому режимі навантаження з частотою обертання 1200-1400 хв⁻¹.

Механічний ККД η_m (рис. 1 б) при всіх варіантах випробувань зростає через збільшення індикаторної потужності, так як потужність механічних втрат прийнята, що не залежить від навантаження [6]

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = 1 - \frac{N_{MB}}{N_i}, \quad (5)$$

де N_i – індикаторна потужність, кВт;

N_{MB} – потужність механічних втрат, кВт.

При всіх варіантах η_m змінюється однаково, оскільки потужність механічних втрат [7], що залежить головним чином від частоти обертання колінчастого валу, залишається постійною. По третьому варіанту механічний ККД вище більшою мірою за рахунок зниження потужності механічних втрат (зниження насосних втрат).

Індикаторний ККД η (рис. 1 б), що характеризується досконалість процесу згоряння, спочатку зростає, а потім зменшується. Зменшення η на малих навантаженнях пояснюється погіршенням сумішоутворення, викликаних низькою температурою (погане випаровування палива), поганим розпиленням і можливими пропусками впрыскування палива (через невелику циклову подачу палива); зменшення η на великих навантаженнях пояснюється в основному погіршенням процесу згоряння із-за нестачі повітря, про що також свідчить коефіцієнт надлишку повітря: α нижче 1,4 призводить до неповного згоряння палива, а значить, до димності відпрацьованих газів. Неповне згоряння супроводжується затягуванням процесу згоряння по такту розширення і, як наслідок, перегрівом деталей циліндро-поршневої групи, коксуванням палива і надмірним відкладенням нагару.

На рисунку 2 представлена економія палива залежно від частоти обертання валу двигуна при різних навантаженнях.

Як видно з рисунка 2, максимальна економія палива відбувається на малому режимі навантаження при частоті обертання колінчастого валу $n=1400$ хв⁻¹ ($P=0$), причому, чим більше частота обертання валу двигуна, тим економія менше, на номінальній частоті економія палива ΔG_{Π} досягає 1,73 кг/год. З ростом навантаження економія палива зменшується і при $P_e = 0,25$ ($n=2600$ хв⁻¹) стає мінімальною – 0,39 кг/год, а при подальшому збільшенні навантаження відбувається перевитрата палива.

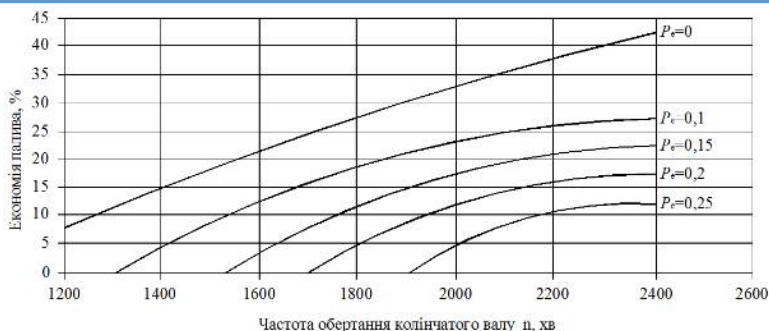


Рис. 2. Економія палива залежно від частоти обертання колінчатого валу при різних навантаженнях

Висновки

1. Таким чином, при роботі двигуна КамАЗ-740 під навантаженням, годинна витрата палива при відключенні тільки подачі палива менше на 7-0%, в інтервалі потужності від 0 до 22 кВт, внаслідок поліпшення процесу згоряння, а потім стає більше.

2. При відключенні палива і усуненні насосних втрат ЦПГ у відключених циліндрах часова витрата палива на малих режимах навантаження знижується порівняно з першим варіантом на 1,73 кг/год, або 21%, що пояснюється підвищенням індикаторного і механічного ККД, зниженням насосних втрат у відключених циліндрах.

3. При подальшому збільшенні ефективної потужності понад 110 кВт часова витрата палива стає вище, ніж у варіанті 1, що доводить доцільність використання способу відключення частини працюючих циліндрів двигуна, економії палива на режимах малих навантажень.

Список літератури

1. Эксплуатация машинотракторного парка : учебник для сред. проф. учеб. заведений / А. А. Загиев [и др.] ; под ред. Н. М. Щербакова. М.: Колос, 2005. – 320 с.
2. Вероятностная оценка режимов работы тракторного двигателя / О.И. Жегалин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 1985. № 9. С. 6-9.
3. Капралов Б.И. Оптимизация параметров топливной аппаратуры дизеля грузового автомобиля / Б.И.Капралов, А.С.Красильников, М.В.Мазинг / Двигателестроение. – 1987. - №5. – С. 20-22.
4. Федосеев С. Ю., Петелин А. А. Анализ нагрузочной характеристики Д-240 при отключении части цилиндров // Вестник ЧГАА, 2011. – Т. 58. – С. 148-151.
5. Молодан А.А. Оценка технического состояния цилиндра-поршневой

- группы двигателя с учетом разделения потоков газов, проходящих в камере: дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, ХНАДУ, 2011. – 184 с.
6. Колчин А. И., Демидов В. П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей : учеб. пособ. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк, 2002. 496 с.
7. Куций П.В. Поліпшення експлуатаційних показників транспортних засобів в неусталених режимах оптимізацією способу регулювання дизелів: дис. ... канд. техн. наук. – Київ, НТУ, 2015. – 206 с.

Аннотация

ВЛИЯНИЕ ОТКАЗА ЧАСТИ ЦИЛИНДРОВ НА РЕЖИМ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ПОД НАГРУЗКОЙ

А.А. Молодан

При работе двигателя под нагрузкой на примере КамАЗ-740, часовой расход топлива при отключении только подачи топлива меньше на 7-0%, в интервале мощности от 0 до 22 кВт, вследствие улучшения процесса сгорания, а затем становится больше.

Доказано, что при отключении топлива и устранении насосных потерь ЦПГ в отключенных цилиндрах временная расход топлива на малых режимах нагрузки снижается по сравнению с первым вариантом на 1,73 кг/ч, или 21%, что объясняется повышением индикаторного и механического КПД, снижением насосных потерь в отключенных цилиндрах.

Abstract

FAILURE EFFECT OF CYLINDERS PART ON THE OPERATING MODE ENGINE UNDER LOAD

A. Molodan

When the engine is under load, for example, KAMAZ-740, hourly fuel consumption when you disconnect only the fuel supply less than 7-0%, in the range of power from 0 to 22 kW, due to the improvement of the combustion process, and then becomes more.

It is proven that if you disable the fuel and eliminating pumping losses in the disabled cylinders fuel consumption at low load is reduced in comparison with the first version 1.73 kg/h, or 21%, due to increase of indicated and mechanical efficiency, reduced pumping losses in the disabled cylinders.