

ЗМІНА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА В РЕЖИМІ РОБОТИ БЕЗ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ВІДКЛЮЧЕННІ ЦИЛІНДРІВ

Полянський О. С., д.т.н., проф., Молодан А. О., к.т.н., доц., докторант

*Харківський національний
автомобільно-дорожній університет*

Розглянуті 3 варіанти роботи двигуна без навантаження: 1 – випробування вихідного двигуна; 2 – випробування з відключенням чотирьох циліндрів припиненням подачі палива; 3 – випробування з відключенням чотирьох циліндрів одночасним припиненням подачі палива і відсутністю насосних втрат циліндро-поршневої групи (ЦПГ) відключених циліндрів.

Встановлено, що при збільшенні частоти обертання колінчастого валу від 1400 хв-1 до 2550 хв-1 при відключенні подачі палива в половину циліндрів економія палива змінюється від 0,0 до 0,53 кг/год, При відключенні палива і при відсутності насосних втрат ЦПГ економія палива змінюється від 1,2 кг/год до 3,88 кг/год. Розроблено рекомендації, які дозволяють шляхом відключення частини циліндрів збільшити економічність колісних машин на 11 - 26%.

Ключові слова: *двигун, відключення циліндрів, робота без навантаження, насосні втрати.*

Вступ. У сфері експлуатації при використанні колісних машин автотракторний двигун значний час працює на часткових навантаженнях [1]. При навантаженні до 50% двигун працює приблизно 40% часу, при навантаженні 50-65% – ще 40% часу і тільки 20 % часу – при навантаженні від 70% до повної потужності [2]. В умовах реальної експлуатації в господарствах час роботи двигуна на холостому ході і малих навантаженнях може бути ще більш тривалим, особливо в осінньо-зимовий період. Для двигунів вантажівок тільки 70-80% часу припадає на чисту роботу при середньому навантаженні до 70%, а решту часу – на транспортні операції з навантаженням двигуна 20-30%.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Економічність роботи дизелів істотним чином залежить від ступеня їх завантаження. Найвищі значення економічності досягаються на номінальному режимі, а на режимах малих навантажень і холостого ходу істотно знижуються, що пов'язано з погіршенням сумішоутворення і згоряння палива, підвищенням нерівномірності подачі палива [3, 4]. Доцільність застосування цього способу підтверджується численними дослідженнями автотракторних двигунів, проте широкого застосування в практиці цей спосіб поки ще не знайшов, частково із-за відсутності обґрунтованих режимів відключення доцільного кількості їх циліндрів і надійних пристроїв для відключення.

Мета та постановка задачі. Метою дослідження є покращення експлуатаційних показників двигуна в режимі роботи без навантаження шляхом обґрунтування кількості відключення циліндрів та визначення енергетичних

параметрів його роботи. Досягнення поставленої мети передбачає вирішення наступних задач:

– визначити взаємозв'язки експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна (на прикладі КамАЗ-740) на холостому ходу (без навантаження) при відключення половини циліндрів;

– визначити характер впливу насосних втрат в ЦПГ відключених циліндрів на енергетичні параметри роботи дизельного двигуна КамАЗ-740 на холостому ходу (без навантаження).

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

Робота двигуна на режимах малих навантажень і холостого ходу, як правило, характеризується погіршенням його основних показників. У зв'язку з цим виникає необхідність у поліпшенні роботи двигуна на цих режимах. Одним із способів є відключення частини циліндрів двигуна. Для виявлення впливу відключення частини циліндрів двигуна на його роботу на кафедрі «Технології машинобудування і ремонту машин» ХНАДУ проведені відповідні дослідження.

Дослідження характеристик двигуна КамАЗ-740 при відключенні частини циліндрів проведені на стаціонарному стенді КІ-5274 в умовах авторемонтного виробництва ХАРЗ-110 та ХАРЗ-126. 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. Параметри роботи двигуна визначали при трьох варіантах випробувань:

1 – випробування вихідного двигуна;

2 – випробування з відключенням чотирьох циліндрів припиненням подачі палива;

3 – випробування з відключенням чотирьох циліндрів одночасним припиненням подачі палива і відсутністю насосних втрат циліндро-поршневої групи (ЦПГ) відключених циліндрів. При відключенні насосних втрат ЦПГ, клапани залишаються працювати, але застосовується перепускний клапан на кожен циліндр, що встановлюється до отвору паливної форсунки. Варіанти випробувань на рисунках позначено відповідно цифрами 1, 2, 3.

Як відомо [6], індикаторна потужність двигуна N_i є сума ефективної потужності N_e і потужності механічних втрат N_{MB} :

$$N_i = N_e + N_{MB} \text{ кВт.} \quad (1)$$

В режимі холостого ходу (без навантаження) ефективна потужність дорівнює нулю [7], тобто вся потужність, що розвивається двигуном, витрачається на подолання механічних втрат:

$$N_i = N_{MB} . \quad (2)$$

При збільшенні частоти обертання колінчатого валу від 1400 хв⁻¹ до 2550 хв⁻¹ параметри роботи двигуна змінювалися наступним чином.

Циклова подача палива зростає при всіх варіантах випробувань (рис. 1), тому що для підвищення частоти обертання колінчастого валу необхідно долати зростаючу потужність механічних втрат, що здійснюється нарощуванням циклової подачі шляхом збільшення активного ходу плунжера важелем подачі палива.

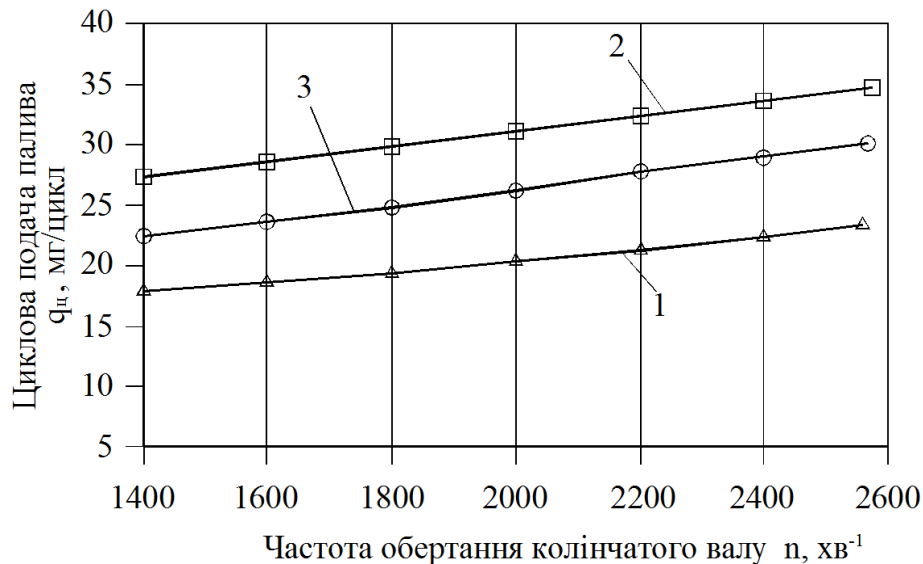


Рис. 1 – Залежність циклової подачі від частоти обертання двигуна

При відключенні тільки циклова подача палива (крива 2) у порівнянні з вихідним варіантом збільшилася. Це сталося, тому що при відключенні подачі палива у 1 та 4 і 6 та 7 циліндрі індикаторна потужність двигуна зменшилася, при цьому частота обертання колінчастого валу знизилася, а для їх збереження на колишньому рівні збільшили циклову подачу з допомогою важеля акселератора практично вдвічі.

При варіанті з відключенням палива та відсутністю насосних втрат в ЦПГ (крива 3) циклова подача палива вище в порівнянні з вихідним, що пояснюється тими ж причинами, що і збільшення при відключенні тільки палива, а порівняно з другим варіантом – нижче, що викликано зниженням механічних втрат (зменшилися насосні втрати в ЦПГ).

Годинна витрата палива визначається за формулою [6]:

$$G_{\text{ц}} = \frac{1,2 \cdot q_{\text{ц}} \cdot n \cdot z_p}{10^4 \cdot \tau} = g_i \cdot N_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i} \cdot N_{\text{мв}} \text{ кг/год}, \quad (3)$$

де $q_{\text{ц}}$ – циклова подача палива, мг/цикл;

n – частота обертання колінчастого валу, хв⁻¹;

z_p – кількість працюючих циліндрів (для другого і третього варіантів

$z_p = 4$, для першого $z_p = 8$);

τ – число тактів;
 g_i – питома індикаторна витрата палива, г/(кВт-год);
 H_u – нижча теплота згорання палива, МДж/кг;
 η_i – індикаторний ККД.

Зі збільшенням частоти обертання валу двигуна часовий витрата палива підвищується при всіх варіантах випробувань, що пов'язано зі збільшенням циклової подачі і з збільшенням кількості циклів в одиницю часу (рис. 2).

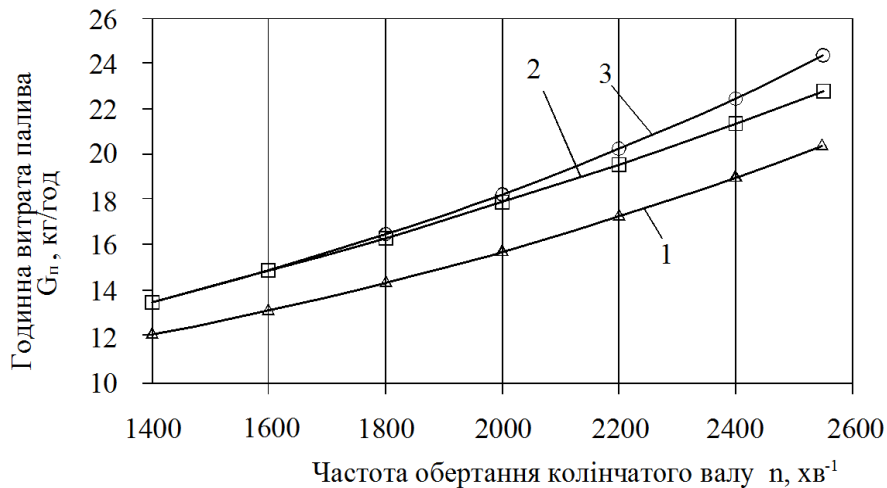


Рис. 2 – Залежність годинної витрати палива від частоти обертання двигуна

При відключенні тільки палива (крива 2) часова витрата палива зростає від 1,83 кг/год при $n=1400$ хв⁻¹ до 4,97 кг/год при $n=2550$ хв⁻¹, при цьому різниця з першим варіантом знаходиться в межах від 0,0 до 0,5 кг/год. При третьому варіанті зростає від 1,33 кг/год до 5,11 л/год, а в порівнянні з першим різниця становить від 0,41 кг/год до 1,1 кг/год. Зниження годинної витрати палива при другому і третьому варіантах порівняно з першим пояснюється тим, що при відключенні палива в частині циліндрів в інших покращився процес згорання, викликане поліпшенням випаровування (за рахунок підвищення температури), збільшенням далекобійності струменя палива, поліпшення розпилу, зниження нерівномірності подачі по циліндрах з-за збільшення циклової подачі, тобто підвищився індикаторний ККД. Більше зниження в 3 варіанті пов'язано з тим, що додатково до поліпшення процесу згорання відбувається зменшення втрат насосних ходів в приводі ЦПП чотирьох циліндрів.

Дійсна витрата повітря визначається по залежності [6]:

$$G_{\text{пов}} = K \sqrt{\Delta h \cdot \rho_{\text{пов}}} \text{ кг/год,} \quad (4)$$

де K – постійна мірного насадка, $K=24$;

Δh – свідчення U -образного водяного манометра, показує розрідження у впускному колекторі, мм вод. ст.;

$\rho_{\text{пов}}$ – щільність повітря при температурі навколишнього (приймаємо постійної), кг/м³.

При 1, 2, 3 варіантах випробувань $G_{\text{пов}}$ збільшується (рис. 3) з-за зростаючого розрідження у впускному колекторі при підвищенні частоти обертання колінчатого валу.

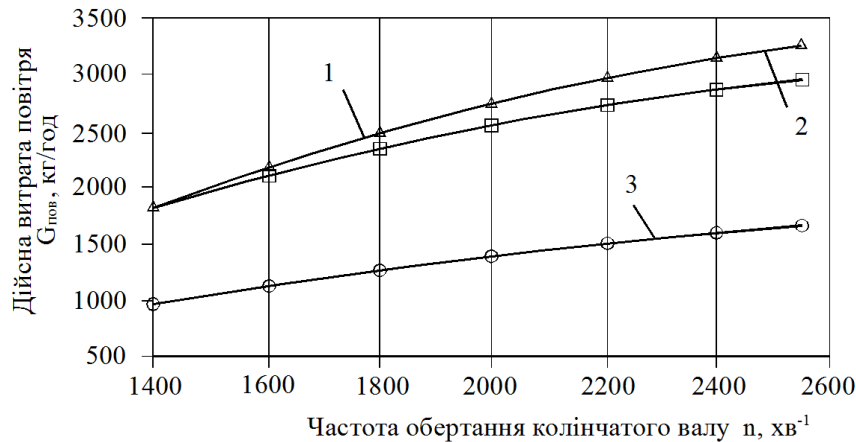


Рис. 3 – Залежність дійсної витрати повітря від частоти обертання двигуна

При 2 варіанті дійсна витрата повітря дещо знижується. Пояснюється це наступним: при такті випуску під час перекриття фаз газорозподілу, коли відкриті впускний і випускний клапани, що виходять відпрацьовані гази затягують в циліндр свіже повітря, а так як в даному випадку в чотири циліндра подачі палива немає, відпрацьованих газів немає, то і величина дійсної витрати повітря тому зменшується за рахунок перепускних клапанів. При відключенні насосних втрат в ЦПГ (крива 3) порівняно з 1 та 2 варіантами зменшується майже вдвічі за рахунок того, що відсутні насосні втрати в відключених циліндрах.

Коефіцієнт надлишку повітря визначається по залежності [6]:

$$\alpha = \frac{G_{\text{пов}}}{G_{\text{п}} \cdot L_0}, \quad (5)$$

де L_0 – теоретично необхідна кількість повітря для спалювання одного кілограма палива, кг/кг

При всіх варіантах випробувань α знижується (рис. 4), так як темп зростання годинної витрати палива $G_{\text{п}}$ вище, ніж темп зростання дійсної витрати повітря $G_{\text{пов}}$. Так, наприклад, при 1 варіанті $G_{\text{п}}$ збільшується в 4,01 рази, а $G_{\text{пов}}$ в 1,97 рази.

При другому варіанті випробувань коефіцієнт надлишку повітря найнижчий, з-за того що величина дійсної витрати повітря зменшується наполовину, так як тільки в половині циліндрів двигуна відбувається сумішоутворення. При третьому варіанті α нижче, ніж у вихідного двигуна, з-за того що з відключенням насосних втрат ЦПГ в частині циліндрів витрата повітря зменшився в більшій мірі, ніж витрати палива (на номінальному режимі $G_{\text{пов}}$ знизився в 2 рази, а $G_{\text{п}}$ в 1,3 рази), але вище, ніж при відключенні тільки палива,

що пов'язано з різницею у витраті палива при 2 і 3 варіантах і з тим, що $G_{\text{пов}}$ при відключенні палива відрізняється від $G_{\text{пов}}$ при відключенні палива та насосних втрат ЦПГ менше, ніж у 2 рази. Залежність індикаторного ККД від коефіцієнту надлишку повітря в даному випадку відсутня, так як величина $\alpha \geq 3$.

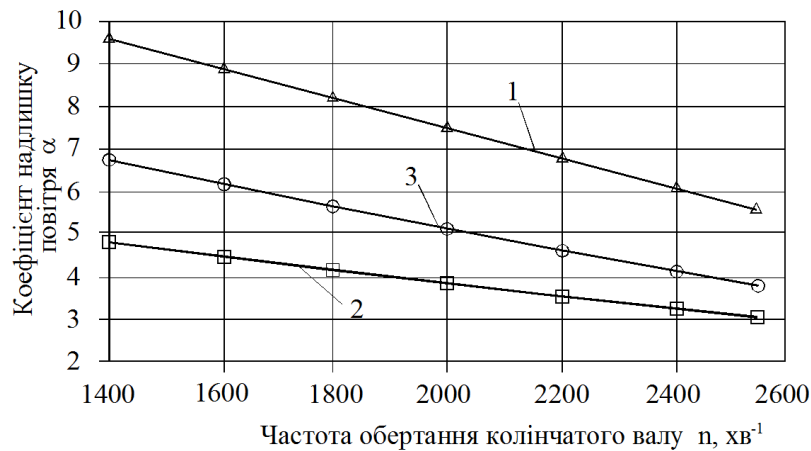


Рис. 4 – Залежність коефіцієнта надлишку повітря від частоти обертання двигуна

Теоретична витрата повітря визначається по залежності:

$$G_{\text{Тпов}} = 0,12 \cdot V_h \cdot z_p \cdot \rho_{\text{пов}} \cdot \frac{n}{\tau} = C \cdot \rho_{\text{пов}} \cdot n \cdot z_p \text{ кг/год}, \quad (6)$$

де V_h – робочий об'єм одного циліндра, л;
 z_p – кількість працюючих циліндрів двигуна (в даному випадку у 1 і 2 варіантах $z_p = 8$, у третьому $z_p = 4$);
 C – постійна (для двигуна КамАЗ-740 $C = 0,12 \cdot V_h / \tau = 0,02034$).

Як видно з рисунка 5, для всіх варіантів випробування $G_{\text{Тпов}}$ зростає за рахунок збільшення частоти обертання двигуна n .

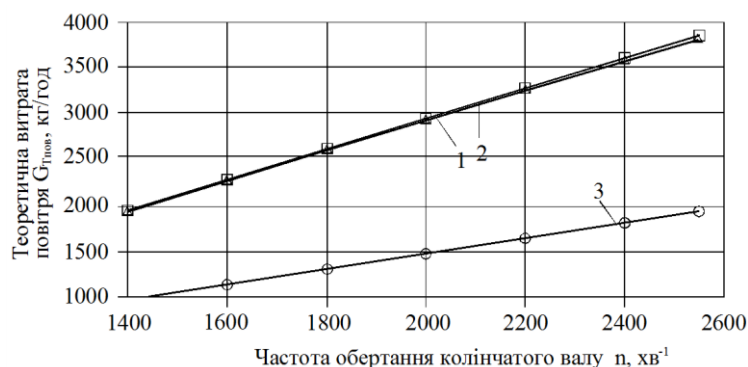


Рис. 5 – Залежність теоретичного витрати повітря від частоти обертання двигуна

При 1 і 2 варіантах випробувань $G_{\text{Тпов}}$ однакова при відключенні циліндрів по варіанту 3 зменшився в 2 рази за рахунок відсутності насосних втрат в 1 та 4 і 6 та 7 циліндрах.

Коефіцієнт наповнення η_v дорівнює відношенню дійсної витрати повітря $G_{\text{пов}}$ до теоретичного $G_{\text{Тпов}}$:

$$\eta_v = \frac{G_{\text{пов}}}{G_{\text{Тпов}}} \quad (7)$$

Для всіх варіантів випробувань η_v знижується (рис. 6) з-за різного темпу зміни дійсного витрати повітря і теоретичного (для 1 варіанту $G_{\text{пов}}$ зростає в 1,71 рази, $G_{\text{Тпов}}$ зростає в 1,96 рази). Зниження темпу зростання $G_{\text{пов}}$ пояснюється зменшенням щільності повітря з-за нагріву у впускному колекторі і підвищенням температури з ростом частоти обертання двигуна, а також за рахунок збільшення аеродинамічних втрат. При варіанті з відсутністю насосних втрат в ЦПГ порівняно з вихідним двигуном коефіцієнт наповнення збільшився з-за того, що нагрівання повітря відбувається тільки в чотирьох циліндрах, на відміну від восьми, а також через зменшення аеродинамічного опору на впуску.

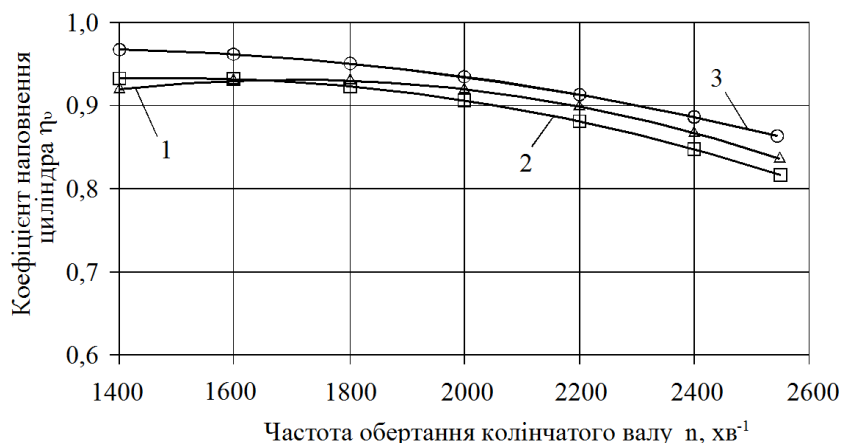


Рис. 6 – Залежність коефіцієнта наповнення від частоти обертання двигуна

Температура відпрацьованих газів зростає при всіх варіантах (рис. 7), так як збільшується кількість введеного за цикл тепла (збільшенням циклової подачі), зменшуються втрати тепла (з зменшенням часу циклу), догорання продовжується на такті випуску (за рахунок зменшення часу процесу згорання).

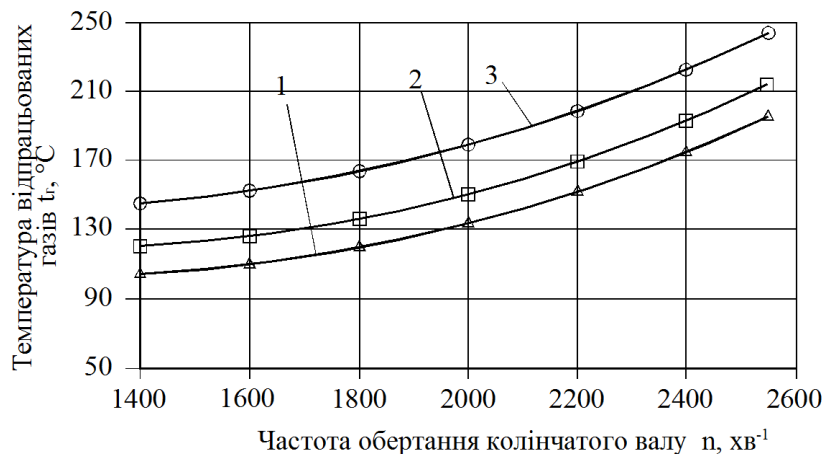


Рис. 7 – Залежність температури відпрацьованих газів від частоти обертання двигуна

При другому і третьому варіантах температура відпрацьованих газів збільшилася в порівнянні з першим, так як зросла циклова подача палива, при другому варіанті вона нижче, ніж при третьому, так як, відпрацьовані гази, що виходять з працюючих другого, третього, п'ятого і восьмого циліндрів, розбавляються повітрям, що виходить з 1 та 4 і 6 та 7 циліндрів.

Індикаторний ККД визначається за формулою:

$$\eta_i = \frac{P_i \cdot L_0 \cdot \alpha}{H_u \cdot \eta_v \cdot \rho_{\text{пов}}}, \quad (8)$$

де P_i – середній індикаторний тиск, МПа.

Індикаторний ККД залежить головним чином від P_i і α , і підвищується при всіх варіантах випробування до певної частоти (рис. 8), так як темп зростання середнього індикаторного тиску перевершує темп зниження α , а при n вище цієї частоти індикаторний ККД незначно зменшується, тому що темп зниження α стає вище темпу зростання P_i .

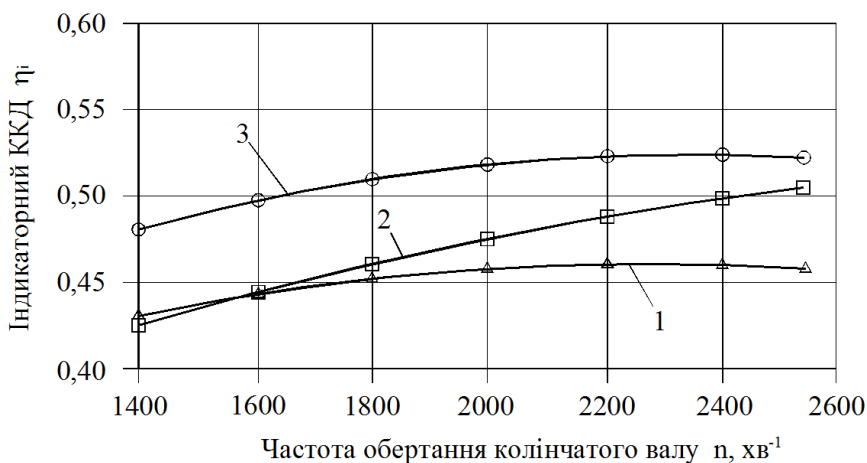


Рис. 8 – Залежність індикаторного ККД від частоти обертання двигуна

При другому варіанті η_i збільшується порівняно з варіантом 1 за рахунок покращення процесів сумішоутворення і згоряння.

При третьому варіанті випробувань η_i вище в порівнянні з іншими через збільшення в два рази середнього індикаторного тиску, хоча коефіцієнт надлишку повітря знизився до 5,51.

Питома індикаторна витрата палива g_i визначається по залежності:

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i}. \quad (9)$$

Питома індикаторна витрата палива зменшується, як було сказано раніше, через поліпшення процесів сумішоутворення і згоряння із збільшенням η_i (рис. 9).

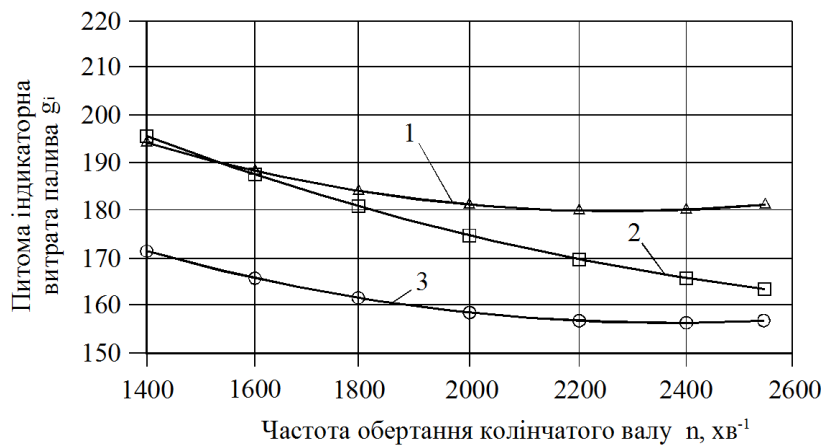


Рис. 9 – Залежність питомої індикаторної витрати палива від частоти обертання двигуна

Висновки. Розглянуті 3 варіанти роботи двигуна без навантаження: 1 – випробування вихідного двигуна; 2 – випробування з відключенням чотирьох циліндрів припиненням подачі палива; 3 – випробування з відключенням чотирьох циліндрів одночасним припиненням подачі палива і відсутністю насосних втрат циліндро-поршневої групи (ЦПГ) відключених циліндрів. Встановлено, що при збільшенні частоти обертання колінчастого валу від 1400 хв^{-1} до 2550 хв^{-1} при відключенні подачі палива в половину циліндрів економія палива змінюється від 0,0 до 0,53 кг/год , При відключенні палива і при відсутності насосних втрат ЦПГ економія палива змінюється від 1,2 кг/год до 3,88 кг/год . Розроблено рекомендації, які дозволяють шляхом відключення частини циліндрів збільшити економічність колісних машин на 11 - 26%.

Список використаних джерел

1. Кузнецов М. В. Совершенствование показателей работы 4-хтактного дизеля автотракторного типа на режимах малых нагрузок и холостых ходов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2008. 21 с.
2. Козлов В. И., Патрахальцев. Н. Н., Эммиль М. В. Повышение топливной экономичности дизелей с помощью системы отключения цилиндров и циклов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 2. С. 18-20.
3. Инсафутдинов С.З. Совершенствование методики оценки неравномерности подачи топливных систем тракторных дизелей: дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2005. 152с.
4. Анализ характеристики холостого хода / С.Ю. Федосеев [и др.] //Вестник ЧГАА. 2011. Т. 58. С. 166-169.
5. Молодан А.А. Оценка технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя с учетом разделения потоков газов, проходящих в картер: 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. Чудаков Д. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Колос, 1972. 384 с.

Аннотация

ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ РАБОТЫ БЕЗ НАГРУЗКИ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ЦИЛИНДРОВ

Полянский А. С., Молодан А. А.

Рассмотрены 3 варианта работы двигателя без нагрузки: 1 – испытания исходного двигателя; 2 – испытания с отключением четырех цилиндров прекращением подачи топлива; 3 – испытания с отключением четырех цилиндров и одновременным прекращением подачи топлива при отсутствии насосных потерь цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) отключенных цилиндров. Установлено, что при увеличении частоты вращения коленчатого вала от 1400 мин-1 до 2550 мин-1 при отключении подачи топлива у половины цилиндров, экономия топлива изменяется от 0,0 до 0,53 кг/ч, при отключении топлива и при отсутствии насосных потерь ЦПГ, экономия топлива изменяется от 1,2 кг/ч до 3,88 кг/ч. Разработаны рекомендации, которые позволяют путем отключения части цилиндров увеличить экономичность колесных машин на 11 - 26%.

Ключевые слова: *двигатель, отключение цилиндров, работа без нагружения, насосные потери.*

Abstract

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF THE ENGINE KAMAZ-740 WHEN DEACTIVATING CYLINDERS WITH NO LOAD

O. Polyansky, A. Molodan

Considered 3 options of engine operation without load: 1 – test the source engine; 2 – test disabling four of the cylinders by stopping delivery of fuel; 3 – test disable four cylinders and simultaneous termination of fuel delivery in the absence of pumping losses of the cylinder-piston group (tspg) is disabled cylinders.

It is established that with increasing engine speed from 1400 min-1 to 2550 min-1 when disconnecting the fuel delivery half of the cylinders, fuel economy varies from 0.0 to 0.53 kg/h, turning off the fuel and in the absence of pumping losses of the cylinder-piston group, fuel economy varies from 1.2 kg/h to 3.88 kg/h. The recommendations were developed that allow disabling of the cylinders to increase the efficiency of wheeled vehicles by 11 - 26%.

Keywords: *engine, cylinder shut-off, operation without load, pumping losses*