

параметризованої моделі, но и получать новые конструктивные решения, теоретически превосходящие лучшие образцы-аналоги.

**Список литературы:**

1. Компьютерное моделирование в инженерной практике / [Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б.]. – С-Петербург: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с. 2. Белогуб А.В. Поддержка жизненного цикла тонкостенных поршней ДВС на основе технологии интегрированного проектирования и производства / А.В. Белогуб // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2010. – №3. – С. 27-40. 3. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалої міцності / В.О. Пильов. – Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2001. – 332 с. 4. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев, Р.Б. Статников. – М.: Наука, 1985. – 110 с. 5. Акімов О.В. Наукові основи конструкторсько-

технологічного проектування литих деталей ДВЗ: авто-реф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / О.В. Акімов. – Харків, 2009. – 36 с.

**Bibliography (transliterated):**

1. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj prakti-ke / [Aljamovskij A.A., Sobachkin A.A., Odincov E.V., Ha-ritonovich A.I., Ponomarev N.B.]. – S-Peterburgjo: BHV-Peterburg, 2008. – 1040 s. 2. Belogub A.V. Podderzhka zhiznennogo cikla tonkostennykh porshnej DVS na osno-ve tehnologii integrirovannogo proektirovanija i proizvodstva / A.V. Belogub // Vostochnoevropejskij zhurnal peredovykh tehnologij. – 2010. – №3. – S. 27-40. 3. Pil'ov V.O. Avtomatizovane proektuvannja porshniv shvidkohidnih dizeliv iz zadanim rivnem trivaloi micnosti / V.O. Pil'ov. – Harkiv: Vidavnicij centr NTU "HPI", 2001. – 332 s. 4. Sobol' I.M. Vybora optimal'-nyh parametrov v zadachah so mnogimi kriterijami / I.M. Sobol', R.B. Stannikov. – M.: Nauka, 1985. – 110 s. 5. Akimov O.V. Naukovi osnovi konstruktors'ko-tehnologichnogo proektuvannja litih detalej DVZ: avto-ref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja doktora tehn. na-uk: spec. 05.05.03 «Dviguni ta energetichni ustanovki» / O.V. Akimov. – Harkiv, 2009. – 36 s.

УДК 621.43

**В.П. Матейчик, д-р техн. наук, М.П. Цюман, канд. техн. наук, В.А. Ніколаснко, інж.**

**ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ПОРШНЕВОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА З ВІДКЛЮЧЕННЯМ ЧАСТИНИ ЦИЛІНДРІВ**

**Вступ.** Основними джерелами енергії на автомобільному транспорті є поршневі двигуни, а їх паливна економічність являється однією з основних характеристик. Як відомо, характерною особливістю бензинових поршневих двигунів є значне погіршення їх паливної економічності в режимах малих навантажень і холостого ходу при регулюванні їх потужності дроселюванням паливоповітряної суміші.

Тому, впродовж багатьох років провідними світовими двигунобудівниками, спеціалізованими науковими лабораторіями, зокрема і на кафедрі «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету, проводяться експериментальні дослідження альтернативних методів регулювання потужності поршневих бензинових двигунів, зокрема методу відключення частини циліндрів при роботі двигуна в режимі малого навантаження і холостого ходу [1–4].

З іншого боку, до важливих показників двигуна можна віднести і динамічні показники, зокрема рівномірність крутного моменту та рівномірність ходу, так як вони викликають коливання кутової швидкості і впливають на надійність деталей двигуна, що обертаються та трансмісії автомобіля,

деталей підвіски двигуна та викликають дискомфорт водія та пасажирів [5].

Оскільки при застосуванні комбінованого методу регулювання потужності двигуна з відключенням частини циліндрів показники рівномірності ходу можуть погіршуватись, важливо їх врахувати при оцінці ефективності застосування такого методу регулювання потужності.

**Метою даної статті** є визначення доцільності регулювання потужності поршневого бензинового двигуна комбінованим методом з відключенням частини циліндрів з врахуванням показників паливної економічності та рівномірності ходу двигуна.

**Математична модель.** З метою дослідження показників паливної економічності і рівномірності ходу двигуна пропонується математична модель, що ґрунтується на положеннях методики моделювання робочого процесу методом об'ємного балансу [6]. Базова математична модель дозволяє розрахувати індикаторні і ефективні показники двигуна, зокрема питому ефективну витрату палива з врахуванням основних конструктивних і регулювальних параметрів двигуна.

Основні відмінності запропонованої моделі від математичної моделі, розробленої в роботі [6], полягають в наступному.

1. Моделювання робочих циклів в окремих циліндрах здійснюється окремо. Таким чином, з'являється можливість зімітувати вимкнення подачі палива в окремі циліндри.

2. Поточне значення індикаторного крутного моменту під час робочого циклу, Н·м:

$$M_i = \sum_{i=1}^{i_u} T_i \cdot R, \quad (1)$$

де  $i$  – номер циліндра двигуна,  $i_u$  – кількість циліндрів,  $T_i$  – значення дотичної сили в  $i$ -тому циліндрі,  $H, R$  – радіус кривошипа, м. Значення дотичної сили  $T_i$  визначається за методикою [5].

Значення  $M_i$  використовується для визначення поточного значення частоти обертання колінчастого вала. Як відомо, індикаторний крутний момент в кожному мить часу зрівноважує моменти опору  $M_{on}$  та моменти сил інерції усіх рухомих мас, приведених до осі колінчастого вала [5]:

$$M_i = M_{on} + I_o \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

де  $I_o$  – момент інерції рухомих мас, приведених до осі колінчастого вала, кг·м<sup>2</sup>,  $\frac{d\omega}{dt}$  – кутове прискорення колінчастого вала, с<sup>-2</sup>. Враховуючи, що

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_\delta}{30} \quad \text{та} \quad dt = \frac{d\varphi}{6 \cdot n_\delta} \quad (d\varphi - \text{елементарний кут}$$

повороту колінчастого вала, град п.к.в.):

$$dn = \frac{5 \cdot (M_i - M_{on}) \cdot d\varphi}{I_o \cdot \pi \cdot n_\delta}. \quad (3)$$

Значення частоти обертання після проходження часу  $dt$ , хв<sup>-1</sup>:

$$n_\delta' = n_\delta + dn. \quad (4)$$

Коефіцієнт нерівномірності ходу двигуна за період зміни кутової швидкості:

$$\delta = \frac{2 \cdot (n_\delta^{\max} - n_\delta^{\min})}{n_\delta^{\max} + n_\delta^{\min}}, \quad (5)$$

де  $n_\delta^{\max}, n_\delta^{\min}$  – максимальне та мінімальне значення частоти обертання колінчастого вала за період, хв<sup>-1</sup>.

**Результати досліджень.** Об'єкт розрахункових досліджень – двигун Opel 6Ч 9,5/6,98.

За результатами розрахунків питомої ефективної витрати палива і коефіцієнта нерівномірності ходу двигуна побудовані універсальні характеристики (рис. 1).

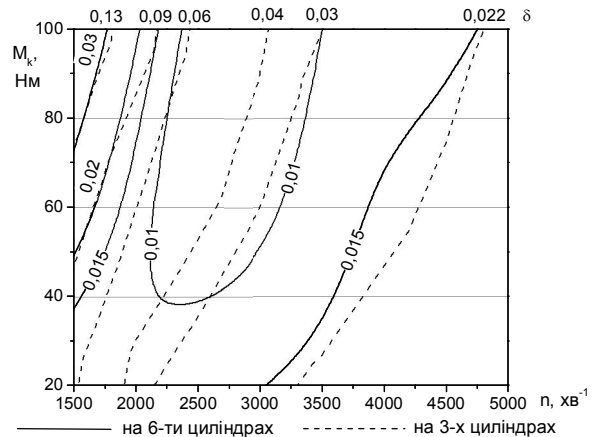
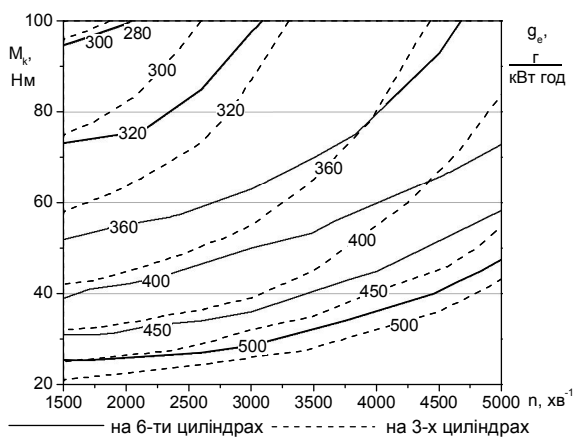


Рис. 1. Універсальні характеристики двигуна Opel 6Ч 9,5/6,98

Як видно із рис. 1а, при роботі двигуна на 3-х циліндрах досягається значне поліпшення паливної економічності в широкому діапазоні швидкісних режимів при навантаженнях менших 100 Н·м. При цьому, при роботі на 6-ти циліндрах практично в усьому робочому діапазоні значення коефіцієнта

нерівномірності ходу  $\delta$  не перевищує 0,03 (рис. 1б). При роботі двигуна на 3-х циліндрах значення  $\delta$  значно збільшується. Наприклад, за частоти обертання нижче 2000 хв<sup>-1</sup> значення  $\delta$  сягає 0,1 і вище. Оскільки при проектуванні двигуна конструктивно закладається значення  $\delta$  на рівні не вище 0,03 для

транспортних двигунів [5], то збільшення його понад 0,03 небажане. Отже, при визначенні доцільності регулювання потужності двигуна з відключенням частини циліндрів, слід враховувати значення коефіцієнта нерівномірності ходу двигуна.

З метою комплексної оцінки ефективності застосування комбінованого методу регулювання потужності з відключенням частини циліндрів використовується інтегральний критерій, що об'єднує окремі критерії ефективності: питому ефективну витрату палива  $g_e$  і коефіцієнт нерівномірності ходу двигуна  $\delta$ :

$$k = k_{ge} \cdot \frac{g_e^6}{g_e^3} + k_\delta \cdot \frac{\delta^6}{\delta^3}, \quad (6)$$

де  $k_{ge}, k_\delta$  – коефіцієнти вагомості окремих критеріїв ефективності, відповідно, питомої ефективної витрати палива  $g_e$  і коефіцієнта нерівномірності ходу двигуна  $\delta$ ;  $g_e^3, g_e^6$  – питома ефективна витрата палива при роботі на 3-х і на 6-ти циліндрах відповідно, г/(кВт·год);  $\delta^3, \delta^6$  – коефіцієнт нерівномірності ходу двигуна при роботі на 3-х і на 6-ти циліндрах відповідно.

Коефіцієнти вагомості  $k_{ge}$  і  $k_\delta$  вибираються за наступною методикою.

1. Беручи до уваги, що при роботі двигуна на 6-ти циліндрах значення  $\delta$  не перевищує допустиме значення 0,03, при  $\delta \leq 0,03$  приймаємо  $k_{ge} = 0,95; k_\delta = 0,05$ .

2. При збільшенні коефіцієнта нерівномірності ходу до 0,06, тобто при  $0,03 < \delta \leq 0,06$  –  $k_{ge} = 0,9; k_\delta = 0,1$ .

3. При  $\delta > 0,06$  –  $k_{ge} = 0,85; k_\delta = 0,15$ .

За результатами розрахунку інтегрального критерію ефективності застосування методу регулювання потужності бензинового двигуна з відключенням частини його циліндрів визначено доцільну область застосування такого методу регулювання (рис. 2).

Як видно із рис. 2, при оцінці доцільності застосування методу відключення циліндрів лише за критерієм паливної економічності отримуємо достатньо широку область доцільної роботи двигуна Opel 6Ч 9,5/6,98 на 3-х циліндрах, що обмежується осями координат нижче кривої 1. При врахуванні критерію рівномірності ходу двигуна, зона доцільної роботи двигуна на 3-х циліндрах звужується до області, що обмежується осями координат нижче

кривої 2. Це пояснюється значним зростанням коефіцієнта нерівномірності ходу двигуна в зоні низьких частот обертання колінчастого вала (рис. 16).

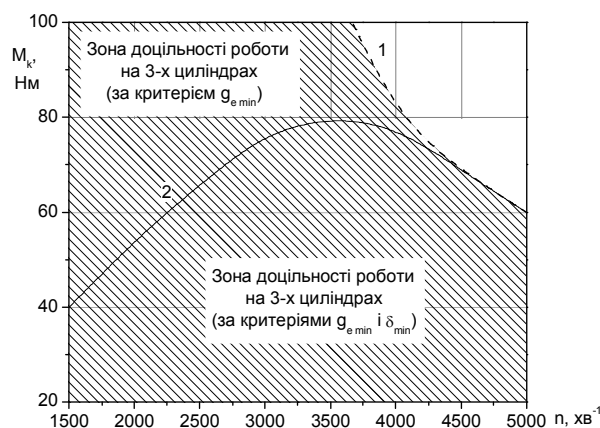


Рис. 2. Зони доцільності регулювання потужності двигуна Opel 6Ч 9,5/6,98 з відключенням частини циліндрів

**Висновки.** Запропонована математична модель поршневого бензинового двигуна при регулюванні його потужності комбінованим методом з відключенням частини циліндрів, що дозволяє врахувати вплив такого методу регулювання потужності на показники паливної економічності і рівномірність ходу двигуна.

Отримані результати моделювання двигуна Opel 6Ч 9,5/6,98 свідчать, що при визначенні доцільності застосування методу регулювання потужності з відключенням частини циліндрів, необхідно враховувати окрім питомої ефективної витрати палива, також і коефіцієнт нерівномірності ходу двигуна.

Оцінка ефективності застосування регулювання потужності поршневого бензинового двигуна комбінованим методом з відключенням частини циліндрів за критеріями паливної економічності і рівномірності ходу двигуна показала, що застосування комбінованого методу регулювання в зоні низьких частот обертання є недоцільним, внаслідок значного зростання нерівномірності ходу двигуна в цій зоні.

**Список літератури:**

1. Редзюк А.М. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей в режимах малых нагрузок и холостого хода: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Редзюк Анатолий Михайлович. – К., 1982. – 273 с. 2. Матейчик В.П. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей совершенствованием способа отключения группы цилиндров: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Матейчик Васи-

лий Петрович. – К., 1990. – 231 с. 3. Ковбасенко С.В. Покращення показників багатощабрових бензинових двигунів з відключенням групи циліндрів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Ковбасенко Сергій Володимирович. – К., 2000. – 289 с. 4. Сирота О.В. Покращення паливної економічності і екологічних показників багатощабрового бензинового двигуна застосуванням комбінованого методу регулювання потужності: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Сирота Олександр Вадимович. – К., 2011. – 286 с. 5. Говорун А.Г. Конструкція і динаміка двигунів: навчальний посібник / А.Г.Говорун, А.О.Корпач. – К.: НТУ, 2007. – 124 с. 6. Цюман М.П. Поліпшення паливної економічності бензинового двигуна з системою нейтралізації відпрацьованих газів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Цюман Микола Павлович. – К., 2010. – 266 с.

**Bibliography (transliterated):**

1. Redziuk A.M. Povyshenie toplivnoi ekonomichnosti mnohoshabrovyykh benzinovykh dvigatelei v rezhymakh malyykh nakhuzok i kholostoho khoda: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02 / Redziuk Anatolii Mikhailovich. – K., 1982. – 273 s. 2. Mateichyk V.P. Povyshenie toplivnoi ekonomichnosti mnohoshabrovyykh benzinovykh dvigatelei sovershenstvovaniem sposoba otkliucheniia hruppy tsilindrov: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02 / Mateichyk Vasilii Petrovich. – K., 1990. – 231 s. 3. Kovbasenko S.V. Pokrashchennia pokaznykh bahatoshabrovyykh benzynovykh dvyhuniv z vidkliuchenniam hrupy tsylindriv: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.03 / Kovbasenko Serhii Volodymyrovych. – K., 2000. – 289 s. 4. Syrota O.V. Pokrashchennia palyvnoi ekonomichnosti i ekolohichnykh pokaznykh bahatoshabrovyykh benzynovoho dvyhuna zastosuvanniam kombinovanoho metodu rehuliuвання potuzhnosti: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.03 / Syrota Oleksandr Vadymovych. – K., 2011. – 286 s. 5. Hovorun A.H. Konstruktsiia i dynamika dvyhuniv: navchalnyi posibnyk / A.H.Hovorun, A.O.Korpach. – K.: NTU, 2007. – 124 s. 6. Tsiuman M.P. Polipshennia palyvnoi ekonomichnosti benzynovoho dvyhuna z systemoiu neitralizatsii vidpratsovanykh haziv: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.03 / Tsiuman Mykola Pavlovych. – K., 2010. – 266 s.

УДК 621.436

**Н. А. Иващенко, д-р техн. наук, Л.В. Грехов, д-р техн. наук, Чжао Цзяньхуэй, асп.**

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРИВОДА УПРАВЛЯЮЩЕГО КЛАПАНА ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ**

**Введение**

В настоящее время экономические и экологические показатели являются наиболее важными при совершенствовании двигателей внутреннего сгорания. Применение и развитие топливоподающей аппаратуры (ТПА) с клапанным управлением Common Rail позволяет осуществлять гибкое управление характеристикой впрыскивания топлива, опережением и величиной подачи топлива, и, таким образом, удовлетворит строгим нормам выбросов вредных веществ [1]. Пьезопровод позволяет повысить точность управления топливом, сокращает время срабатывания открытия клапана, но высокая стоимость и трудность замены серийного электромагнитного привода на пьезопровод ограничивают его применение.

Математическая модель БЭМП с высокой адекватностью позволяет более реально описывать процесс его работы, и всесторонне оптимизировать параметры. С этой точки зрения разработка и совершенствование математической модели для расчета нестационарного процесса работы БЭМП является актуальной задачей.

**Математическая модель**

С учетом магнитного поля в сердечнике общая формула для расчета суммарной магнитной

индукции, отражающая равенство намагничивающей силы сумме магнитных сопротивлений:

$$B = i \cdot w \sqrt{\left( \frac{2\delta}{\mu_T} + \frac{l_{серд}}{\mu_{серд}} \right)}, \quad (1)$$

где  $i$  - ток, В;  $w$  - количество витков катушки;  $\delta$  - зазор между сердечником и якорем, мм;  $\mu_{серд}$  - магнитная проницаемость в сердечнике, Гн/м;  $\mu_T$  - магнитная проницаемость топлива, Гн/м;  $l_{серд}$  - длина средней линии сердечника, мм.

С учетом переменной  $L$  электрическая цепь описывается:

$$E = i \cdot R + \frac{1}{C} \int_0^t idt + \frac{d(i \cdot L)}{dt} \\ = i \cdot R + \frac{1}{C} \int_0^t idt + \frac{di}{dt} \cdot L + \frac{dL}{dt} \cdot i \quad (2)$$

где  $E$  - Э.Д.С источника, В;  $R$  - активное сопротивление, Ом;  $L$  - магнитная индуктивность, Гн;  $C$  - ёмкость импульсного конденсатора, ф.

Из формулы (2) получена скорость изменения тока:

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L} \left[ E - \frac{1}{C} \int_0^t idt - iR - i \frac{dL}{dt} \right]. \quad (3)$$

Активное сопротивление разделяется на две части: внешнее сопротивление и сопротивление в катушке: