

О.М. Пилипенко, д.т.н., проф.  
І.А. Шльончак, аспір.

Черкаський державний технологічний університет

### ВПЛИВ КУТА ВИПЕРЕДЖЕННЯ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА НА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДИЗЕЛЯ, ЩО ПРАЦЮЄ НА БІОПАЛИВІ

*У роботі досліджено вплив зміни технічних параметрів дизельного двигуна на його техніко-економічні та екологічні показники. Встановлено, що кут випередження впорскування палива істотно впливає на екологічні та економічні показники дизеля. Отримано залежності екологічних показників відпрацьованих газів (ВГ) дизельного двигуна ISUZU моделі 4HG1 від кута випередження впорскування палива при його роботі на традиційному та біологічному паливі. Рекомендовано змінити вихідні технічні параметри двигуна на раціонально доцільніші значення.*

**Вступ.** У зв'язку із зменшенням природних запасів нафти та суттєвим зростанням вартості традиційних моторних палив надзвичайно актуальним є використання біодизельного палива, котре отримують з відновлюваної рослинної сировини. Ситуація, що склалась в Україні з забезпеченням її економіки достатніми обсягами енергоносіїв власного видобутку, гостро ставить проблему пошуку альтернативних видів моторного палива (АП). Доступним готовим джерелом сконцентрованої енергії є рідке біологічне паливо та його суміші з дизельним паливом [1–3].

Проблема виробництва та використання біологічних палив є актуальною і для України, яка імпортує більшу частину нафти та газу [4]. Науково-технічні аспекти використання цих видів палива у двигуні внутрішнього згорання із запаленням від стиснення протягом років розробляються провідними вченими нашої країни у галузі двигунобудування. Різноманіття конструкцій дизельних двигунів розширює сферу досліджень, оскільки конкретно взята модель може істотно відрізнятись від іншої. Тому постає необхідність дослідити робочі процеси дизеля конкретної моделі та встановити оптимальні його показники, враховуючи заміну традиційного палива на альтернативне.

Актуальним є дослідження впливу особливостей біопалив на протікання процесів сумішоутворення, згорання, утворення оксиду азоту та сажі в робочій камері циліндра.

Проведені дослідження з використання АП рослинного походження [5–7] у вітчизняних дизельних двигунах не дають достатнього обґрунтування їх вибору. Відмінна конструкція піддослідних двигунів від об'єкта дослідження не дозволяє використовувати відповідні палива для дизеля, що випробовується в даній роботі.

Використання біодизельного палива у двигуні передбачає вибір оптимальних налаштувань його параметрів. Це дозволяє досягти зменшення екологічної шкоди, яку завдають навколишньому середовищу ВГ дизеля та зменшити частку рідких палив нафтового походження для споживання автотранспортом. З урахуванням цього актуальним також є питання досліджень впливу конкретних параметрів двигуна на його екологічні та економічні показники.

**Метою роботи** є покращення екологічних та економічних показників дизельного двигуна встановленням раціональних значень робочих параметрів дизеля моделі 4HG1.

Мета експерименту досягалась на сучасній лабораторній установці з комплексом вимірювального обладнання для автоматичної обробки і реєстрації результатів вимірювань (установка кафедри АТЕ ДТУ м. Черкаси) [8]

В роботі використовувалось АП рослинного походження, виготовлене на основі ріпакової оливи (РО). Для дослідження впливу цього палива на екологічні та економічні показники дизельного двигуна ISUZU моделі 4HG1, що встановлюється на автобусах різних класів та вантажівках, а також з метою порівняльного аналізу, були відібрані такі види палива:

- дизельне паливо (ДП) за ГОСТ 3869-99;
- етиловий ефір ріпакової оливи (ЕЕРО).

До основних шкідливих компонентів ВГ дизельного двигуна відносять окиси азоту та тверді частки. Частка цих речовин у загальному шкідливому впливі ВГ складає 95 % [9, 10]. Викиди цих шкідливих речовин, при використанні біопалив, знижуються порівняно з ДП. Основну проблему, очевидно, являють окиси азоту, викиди яких у багатьох випадках збільшуються [6]. Тому як критерій токсичності ВГ взято питомі викиди оксидів азоту.

При використанні сумішевих палив з мінімальним складом РО для дизелів традиційної конструкції однією з причин нагароутворення є гліцерин. Збільшення процентної частки палив рослинного походження в ДП призводить до збільшення ймовірності нагароутворення, що знижує надійність дизеля.

З точки зору безперебійної роботи двигуна ЕЕРО є досить перспективним паливом, оскільки під час реакції етерифікації, при отриманні ефірів з оливи та етанолу, як побічний продукт утворюється гліцерин, але його вміст у ЕЕРО не перевищує 1 %.

**Об'єктом дослідження** є процес згорання паливовоздушно-повітряної суміші у циліндрі чотиритактного дизельного двигуна моделі 4HG1. Завдяки вдосконаленню таких систем, як газорозподільний механізм, системи живлення паливом, охолоджувальної системи, системи змащення та використання турбонаддувної технології, провідними конструкторами корпорації ISUZU було виготовлено модернізовану модель дизельного двигуна при незмінних габаритних розмірах. Його коротка технічна характеристика наведена у табл. 1.

Таблиця 1

*Коротка технічна характеристика модернізованого двигуна ISUZU моделі 4HG1*

№ з/п	Назва параметра двигуна, розмірність	Значення параметра
1	Положення та кількість циліндрів	Р 4
2	Діаметр циліндра, мм	102
3	Хід поршня, мм	118
4	Ступінь стиснення	16,5
5	Номінальна потужність, кВт	88
6	Номінальна частота обертання, хв <sup>-1</sup>	2800
7	Максимальний момент, Н•м (кгс•м)	343(35)
8	Максимальна частота обертання колінчастого вала (без навантаження), хв <sup>-1</sup>	3220
9	Мінімальні витрати палива, (при повному навантаженні) г/кВтгод	225
10	Спосіб подачі палива у камеру згорання, її геометрична форма	Безпосереднє впорскування, плоска
11	Об'єм, л	3,856

З метою адаптації дизельного двигуна до його роботи на різних швидкісних режимах використовувалась механічна п'ятиступенева синхронізована на всіх передачах з гідропідсилювачем коробка перемивання передач моделі МХА5R. Це дало можливість змінювати тягово-швидкісні параметри дизеля, при незмінній частоті обертання ротора електромашини, та визначати вплив робочих параметрів дизеля на екологічні показники ВГ.

В роботі використовувались такі основні вимірювальні прилади:

- прилад ИМД-ЦМ, призначений для вимірювання частоти обертання колінчастого вала  $n$ , ефективної потужності  $N_e$ , крутного моменту  $M_{кр}$  та ін.;
- прилад КИ-16301А, призначений для вимірювання максимального тиску впорскування палива у камеру згорання;
- моментоскоп КИ-4941, призначення якого полягає у визначенні моменту початку подачі палива;
- димомір ИНА-109;
- газоаналізатор 123ФА01.

Вимірювальний комплекс для контролю техніко-економічних та екологічних показників дизеля складається зі спеціальних датчиків та вимірювальних приладів [8].

Точність вимірювань основних параметрів двигуна на номінальному режимі його роботи відповідає регламентованим вимогам ГОСТ18509-80.

В роботах [10, 11] показано, що основну роль в сумарні паливно-екологічні витрати при експлуатації дизеля відіграють режими при номінальній частоті обертання при високих та низьких навантаженнях. Тому розрахункове дослідження раціонально виконувати для режимів високих навантаженнях, оскільки чутливість показників двигуна до зміни технічних параметрів на цих режимах найбільш висока [12]. Тому як базовий режим було обрано режим номінальної потужності.

Після кожного етапу досліджень виконувався візуальний огляд форсунок та визначався ефективний прохідний переріз розпилювачів.

Для визначення економічності та екологічної ефективності використання біологічного палива проводилось порівняння результатів роботи двигуна на традиційному та біологічному паливі. Під час випробувань наочно контролювалась якість АП (наявність чи відсутність осаду або жирових відкладень).

Для порівняльного аналізу з необхідною точністю результатів, отриманих під час дослідження, забезпечувались однакові умови роботи двигуна на різних видах палива.

В дослідженнях варіювались параметри двигуна, котрі мають найбільший вплив на техніко-економічні та екологічні показники дизеля, а саме: ступінь стиснення палива, тиск наддуву повітря,

кут випередження впорскування палива та кут, від якого залежить тривалість впорскування палива. Значення даних параметрів дизеля наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Границі варіювання параметрів

Параметри	Мінімум	Максимум	Нульовий рівень
Ступінь стиснення, $\epsilon$	17	19	18
Кут випередження впорскування, $\theta_{вип}$ , град. повороту колінчастого вала (п.к.в.)	14	16	15
Тиск наддуву повітря, $p_{sp}$ , МПа	0,20	0,24	0,22
Тривалість впорскування, $\varphi_{впор}$ , град. п.к.в.	16	22	19

Завдання експериментальних досліджень охоплювали визначення шкідливих речовин ВГ, котрі змінюються під впливом зміни факторів впливу. В результаті випробувань проводилась оцінка впливу зміни кута випередження впорскування палива на екологічні показники ВГ піддослідного дизельного двигуна.

Треба зазначити, що ступінь стиснення, тиск наддуву та кут випередження впорскування палива є незалежними параметрами. На відміну від них, тривалість впорскування  $\varphi_{впор}$  залежить від таких факторів, як максимальний та середній тиск впорскування, прохідний переріз розпилюючих отворів тощо. В даній роботі кут тривалості впорскування  $\varphi_{впор}$  змінюється прискоренням процесу паливоподачі шляхом збільшення максимальних тисків впорскування палива  $p_{макс}$ . Значення інших параметрів процесу паливоподачі залишаються постійними.

Враховуючи вищезазване, автор роботи [13] пропонує встановити кореляцію між  $\varphi_{впор}$  та  $p_{макс}$  яку використано у дослідженні:

$$p_{макс} = \left( \frac{U_0}{\varphi_{шв}} \right)^2 \frac{\rho_n}{2} + p_{ст}, \tag{1}$$

$$U_0 = \frac{24 \cdot B_c \cdot n}{0,75 \cdot \rho_{ст} \cdot \pi \cdot d_c^2 \cdot i_c \cdot \varphi_{впор}}, \tag{2}$$

де  $U_0$  – середня швидкість витoku палива через отвори розпилювача форсунки;

$\varphi_{шв}$  – коефіцієнт швидкості, який залежить від частоти обертання колінчастого вала;

$\rho_n$  – густина палива;

$p_{ст}$  – умовний тиск в кінці стиснення;

$B_c$  – циклова подача палива;

$n$  – частота обертання колінчастого вала двигуна;

$d_c$  та  $i_c$  – відповідно діаметр та кількість отворів у розпилювачі форсунки.

В дослідженнях було проведено порівняння експериментальних та розрахункових значень за виразом (1) максимальних тисків впорскування палива залежно від навантаження  $P_e$ . З рисунка 1 видно, що розрахункові та експериментальні значення майже співпадають.

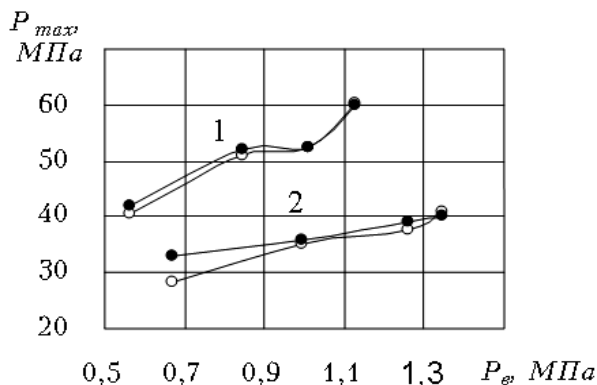


Рис. 1. Вплив навантаження на максимальний тиск перед форсункою:

1 –  $n = 2800 \text{ хв}^{-1}$ ,  $\varphi_{шв} = 0,66$ ; 2 –  $n = 1600 \text{ хв}^{-1}$ ,  $\varphi_{шв} = 0,76$

—○— розрахунок;

—●— експеримент

Таким чином, разом із тривалістю впорскування в роботі було визначено рівень максимальних тисків впорскування палива.

Вплив зміни кута випередження впорскування палива на техніко-економічні та екологічні показники роботи дизельного двигуна моделі 4HG1 представлено на рисунку 2.

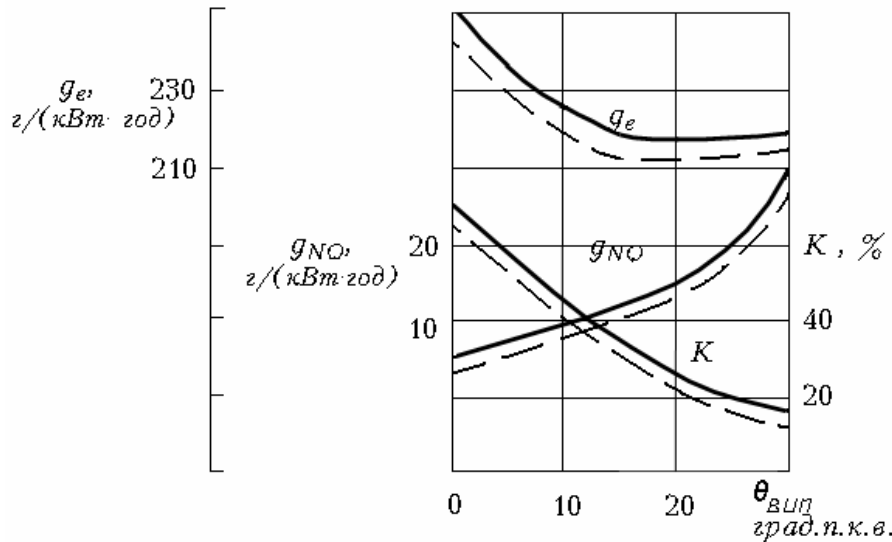


Рис. 2. Вплив зміни кута випередження впорскування на техніко-економічні та екологічні показники дизеля моделі 4HG1:

— ДП;  
- - - ЕЕРО

З рисунка 2 можна зробити висновок, що збільшення кута випередження впорскування палива призводить до зменшення димності ВГ. Водночас зростають викиди оксидів азоту  $g_{NO}$  та максимальний тиск згорання  $p_z$ . Витрати палива  $g_e$  інтенсивно знижуються при значеннях  $\theta_{вип}$ , близьких до 15–20 град. п.к.в. При подальшому збільшенні кута випередження питомі витрати палива починають зростати.

Зниження димності пояснюється зростанням температур у камері згорання, а також збільшенням часу, котрий відводиться на процес вигорання твердих частин.

Зростання викидів NO можна пояснити збільшенням тривалості періоду затримки спалаху і як наслідок – збільшенням швидкості тепловиділення та температур в процесі кінетичного згорання.

Внаслідок збільшення максимальних тисків згорання, а також різниці роботи процесів стиснення та розширення починає зростати індикаторний ККД. Саме цей факт призводить до зниження витрат палива при збільшенні кута впорскування палива до 15–20 град. п.к.в. при використанні біопалив рослинного походження як альтернативного палива дизельного двигуна. При подальшому збільшенні кута випередження  $\theta_{вип}$  індикаторний ККД починає зменшуватись, що і призводить до збільшення витрат палива.

При використанні у двигуні палива рослинного походження, зокрема ЕЕРО, постає необхідність коректування технічних параметрів двигуна. При цьому кут випередження впорскування відповідно набуває значення на 1–3 град. п.к.в. нижче, ніж при використанні традиційного ДП.

Порівнюючи отримані результати, котрі зображені на рисунку 2, можна зробити висновок про більш доцільне використання альтернативних палив, зокрема етилових ефірів ріпакової оливи. В результаті проведених випробувань були знайдені раціональні значення не лише кута випередження впорскування палива, а й ступеня стиснення, тиску наддуву та кута тривалості впорскування. Вибір раціональних параметрів здійснювався методом перебору всіх можливих поєднань із заданим кроком зміни варіюючих величин. Для кута випередження впорскування палива раціональне значення становить  $\theta_{вип} = 8\text{--}10$  град. п.к.в. Варіювання цього параметра у вказаному діапазоні дозволить знизити питомі витрати палива на 12–14 г/кВт·год., викиди оксидів азоту – на 0,4–2,8 г/кВт·год та димність – на 4–15 %. Хоча не слід забувати про оптимальні значення інших технічних параметрів, котрі теж відіграють важливу роль у процесі згорання паливо-повітряної суміші.

**Висновки.** В процесі досліджень впливу кута випередження впорскування палива на екологічні показники дизельного двигуна моделі 4HG1 було встановлено, що цей параметр істотно впливає на частку шкідливих речовин у ВГ двигуна.

Отримано графічні залежності техніко-економічних та екологічних показників дизельного двигуна моделі 4HG1, а саме: питомих витрат палива  $g_e$ , димності  $K$  та часток оксидів азоту  $g_{NO}$  у ВГ, від кута випередження впорскування палива.

Проведена порівняльна характеристика впливу кута випередження впорскування на техніко-економічні та екологічні показники дизеля при його роботі на традиційному та біологічному паливі.

Показано, що при зміні традиційного палива на альтернативне доцільніше, з точки зору економічності та екологічності, коректувати кут випередження впорскування. Попереднє раціональне значення даного параметра становить відповідно 8–10 град. п.к.в. Остаточна оцінка буде здійснена за наступними дослідженнями по оптимізації.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Желєзна Т. Рідке паливо і біомаси. Біодизельне паливо // Зелена енергетика. – 2003. – № 4. – С. 9–11.
2. Матусова Т.Н. Биодизельные топлива // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2004. – № 2. – С. 16–20.
3. Редзюк А. Чи є перспектива у використанні ріпакової олії як моторного пального в Україні? // Пропозиція. – 1999. – № 5. – С. 55–56.
4. Бурмака Г.Г. Производство альтернативных видов топлива и смазочных материалов с использованием растительных масел в Украине / Рынок нефти и нефтепродуктов на рубеже XXI века. – К., 2003. – Гл. 4.9. – С. 306–317.
5. He Y., Bao Y.D. Study on rapeseed oil as alternative fuel for a single-cylinder diesel engine // Renewable Energy. – 2003. – № 28. – Pp. 1453.
6. Осетров А.А. Улучшение технико-экономических показателей дизеля 4 ЧН 12/14, работающего на биотопливах: Дис...канд. техн. наук: 05.05.03. – Х.: НТУ «ХПИ», 2005. – 190 с.
7. Линьков О.Ю. Выбор и обоснование параметров смесеобразования и сгорания дизеля, работающего на альтернативных топливах: Дис...канд. техн. наук: 05.05.03. – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – 176 с.
8. Пилипенко О.М., Шльончак І.А. Методологічні аспекти дослідження властивостей біодизеля // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2008. – № 1. – С. 47–56.
9. Автомобільні двигуни: Підручник / Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долгунов та ін. – К.: Арістей, 2005. – 476 с.
10. Парсаданов І.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия. – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
11. Шеховцов А.Ф. Исследование нестационарных тепловых режимов поршневой перспективных тракторных дизелей: Автореф. дис...канд. техн. наук / ХИИТ. – Х., 1978. – 24 с.
12. Марков В.А. Характеристики топливоподачи транспортных дизелей / В.А. Марков, В.Г. Кислов, В.А. Хватов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1997. – 160 с.
13. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях. – Х.: Вища шк., 1980. – 169 с.

ПИЛИПЕНКО Олександр Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- зміцнення та реновація автодеталей;
- комбінована обробка газотермічних покриттів.

Тел.: (0472) 422-183.

ШЛЬОНЧАК Ігор Анатолійович – аспірант Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- підвищення ефективності використання альтернативних палив.

Тел.: (0472) 330-867; 8 (097) 770-91-71.

E-mail: Igor\_Shlionchak@ukr.net

Подано 03.06.2008

**Пилипенко О.М., Шльончак І.А.** Вплив кута випередження впорскування палива на екологічні показники дизеля, що працює на біопаливі

**Пилипенко А.М., Шленчак И.А.** Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели дизеля, работающего на битопливах

**Pilipenko A., Shlionchak I.** Influence of injection dwell angle for ecological indexes of diesel engine, which operate on biological fuel

УДК 621.436:504

**Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели дизеля, работающего на битопливах / А.М. Пилипенко, И.А. Шленчак**

В работе исследовано влияние изменения технических параметров дизельного двигателя на его технико-экономические и экологические показатели. Показано, что угол опережения впрыскивания топлива существенно влияет на экологические и экономические показатели дизеля. Получены зависимости экологических показателей отработавших газов дизельного двигателя ISUZU модели 4HG1 от угла опережения впрыскивания топлива при его работе на традиционном и биологическом топливе. Даны рекомендации заменить исходные технические параметры двигателя на более эффективные значения.

УДК 621.436:504

**Influence of injection dwell angle for ecological indexes of diesel engine, which operate on biological fuel / A.Pilipenko, I.Shlionchak**

There was researched in this article the influence of change of technical parameters of diesel engine on its technical, economic and ecological indexes. It was noticed that the angle of outstripping of fuel injection had quite influence on the ecological and economic indexes of diesel. There was got graphic dependences of ecological indexes of diesel engine depends on the angle of outstripping of fuel injection working with traditional and biological fuels. It was recommended to change the technical parameters of diesel engine by the most effective descriptions.