

А.Л. Миленко, студ.  
В.Л. Мудь, студ.  
О.А. Тригуб, к.т.н., доц.

Черкаський державний технологічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДВИГУНА ЗІ ЗМІННИМ РАДІУСОМ КРИВОШИПУ

*Визначено економічні та експлуатаційні показники роботи модернізованого двигуна автомобіля ВАЗ-21112 шляхом встановлення механізму зміни ступеня стиснення. Представлено оцінку вдосконалення конструкції, матеріалоемності та екологічності двигуна.*

**Вступ.** З теорії теплових машин відомо, що ефективність ідеального термодинамічного циклу (його термічний ККД) збільшується зі зростанням ступеня стиснення робочого тіла ( $\varepsilon$ ). Вплив ступеня стиснення на ефективність реальних теплових машин – автомобільних двигунів – не настільки однозначний. Теоретично обґрунтованому, «безмежному» підвищенню ступеня стиснення перешкоджають одночасно зростаючі механічні втрати на тертя та газообмін, теплові та механічні навантаження на деталі двигуна, особливості автомобільних палив.

Тому стосовно ДВЗ можна говорити про оптимальне значення ступеня стиснення, при якому досягається максимум ефективного ККД, що відповідає за паливну економічність та високі потужнісні характеристики. Точніше, про діапазон оптимальних величин  $\varepsilon$ , оскільки на різних режимах роботи двигуна ступінь дії обмежуючих чинників різний і найбільш ефективна робота може досягатися при різних ступенях стиснення.

Оптимальний ступінь стиснення для двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) лежить у межах 13–15 [1]. Подальше збільшення  $\varepsilon$  не призводить до помітного поліпшення показників двигуна через зростання механічних втрат. Водночас цей параметр у сучасних бензинових двигунів зазвичай становить величину порядку 10, тобто істотно менше оптимального. Причина – прагнення уникнути детонації, небезпека якої виникає перш за все на режимах повного навантаження, при високих значеннях тиску та температури в камері згорання. Відомо, що двигун автомобіля міського циклу працює з повністю відкритим дроселем не більше 10 % часу експлуатації. Це означає, що велику його частину він не добирає в потужності й неекономно витрачає пальне. Якби ступінь стиснення був регульованим, на режимах холостого ходу й часткових навантажень двигун міг би працювати з оптимальним  $\varepsilon$  і лише на потужнісних режимах він зменшувався б до безпечного рівня. Підраховано, що це дозволило б знизити витрату бензину приблизно на 10 %.

Крім того, широке використання в конструкціях двигунів систем наддування зробило напрям цієї роботи ще актуальнішим. При наддуванні в багато разів зростає небезпека виникнення детонації на режимах навантажень. Для її уникнення зазвичай форсовані двигуни з фіксованим ступенем стиснення «розтискають» – зменшуючи величину  $\varepsilon$  на декілька одиниць (до 7–8), тоді він ще більш віддаляється від оптимуму. Розплатою за це стає нестійка робота та неекономічність двигуна на режимах холостого ходу та часткових навантажень.

Для збільшення потужності двигуна й підвищення економічності бажано знижувати ступінь стиснення на високочастотних режимах. Проте якщо ступінь стиснення буде малим для всіх діапазонів роботи двигуна, це призведе до зниження потужності та збільшення витрати пального на низькочастотних режимах.

У разі переходу на змінний ступінь стиснення робочий процес у двигуні при наддуванні можна організувати так, що за рахунок відповідного зниження ступеня стиснення при будь-яких тисках наддування максимальні тиски робочого циклу (тобто ефективність роботи) залишатимуться незмінними або трохи змінюватимуться. При цьому, не дивлячись на збільшення корисної роботи за цикл, а отже, й потужності двигуна, максимальні навантаження на його деталі можуть знаходитися в допустимих межах, що дозволяє форсувати двигуни без впровадження змін у їх конструкцію.

Технологія змінного ступеня стиснення дозволить високофорсованому двигуну працювати гранично ефективно на будь-яких режимах. Для цього потрібно лише плавно регулювати  $\varepsilon$  в діапазоні від 14 до 7. Повний контроль над детонацією в умовах наддування високого тиску дасть можливість зменшити робочий об'єм двигунів до 50 %, зберігши їх потужнісні характеристики. Завдяки гнучкому регулюванню ступеня стиснення можна буде змінювати параметри фізичних процесів у двигуні, що впливають на витрату пального й емісію токсичних компонентів:

- тиск і температуру в кінці такту стиснення;
- максимальний тиск і температуру згорання;
- ступінь розширення та індикаторний ККД;
- об'єм камери згорання;

– температуру відпрацьованих газів.

Так, за відомостями з різних джерел, компактні VCR-двигуни з наддуванням (з англ. «Variable Compression Ratio» – змінний ступінь стиснення) споживатимуть пального на 20–40 % менше, порівняно з традиційними атмосферними моторами еквівалентної потужності. На таку ж величину скоротяться і викиди «парникового газу».

Зміна ступеня стиснення також дає можливість більш ефективного використання альтернативних видів палива. Регульований у широких межах ступінь стиснення значно спрощує завдання створення багатопаливного двигуна, здатного однаково ефективно працювати на бензині, природному газі або спиртобензиновій суміші E-85, особливо популярній у Швеції та США.

Таким чином, шляхом до створення компактного, потужного й економічного бензинового двигуна є технологія змінного ступеня стиснення.

**Метою роботи** є дослідження динамічних, швидкісних та експлуатаційних характеристик двигуна зі змінним ступенем стиснення.

**Викладення основного матеріалу.** На сьогоднішній день існує ряд перспективних розробок VCR-двигунів, одна частина яких знаходиться на етапі стендових випробувань, інша довела свою надійність при роботі на автомобілях [2]. Провівши аналіз механізмів змінного ступеня стиснення, було обрано механізм, в якому використовуються ексцентрикові втулки між шатунною шийкою колінчатого вала та нижньою головкою шатуна (рис. 1). Такий механізм дозволяє подовжити робочий хід поршня в такті розширення і довше використовувати енергію газів, що згорають. Для цього ступінь стиснення змінюється постійно, впродовж кожного робочого циклу двигуна [3–5].

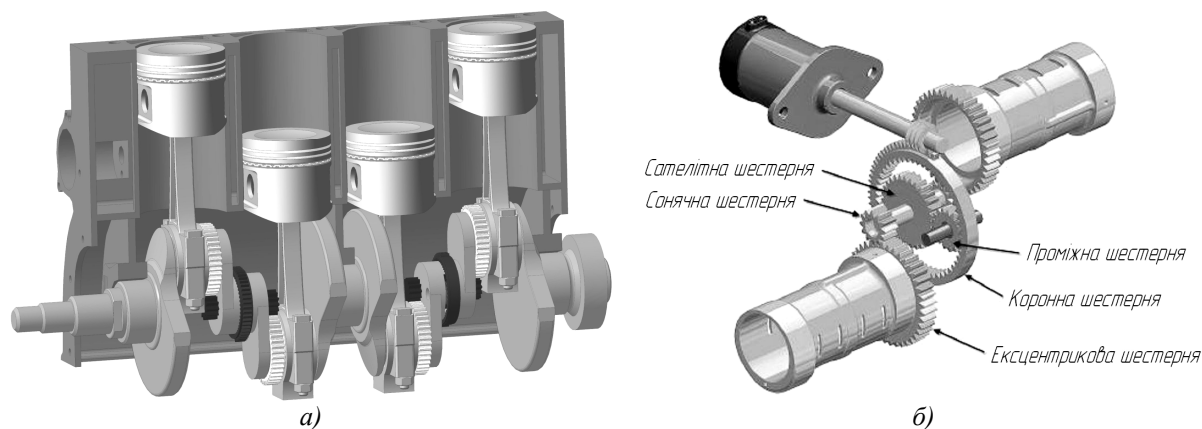


Рис. 1. Модель двигуна (а) з механізмом зміни ступеня стиснення (б)

Дослідження проводилися для модернізованого двигуна автомобіля ВАЗ-21112. Діапазон зміни ступеня стиснення модернізованого двигуна склав від 7,1 до 15.

Для досягнення ефективної роботи механізму зміни ступеня стиснення в VCR-двигуні використано декілька супутніх технологій:

- повністю регульований газорозподільний механізм з 4 клапанами на циліндр (VVA);
- безпосереднє впорскування пального (GDI);
- примусове наддування повітря (CH).

Щоб провести аналіз та дати оцінку потужнісним та експлуатаційним показникам при роботі двигуна з повним навантаженням, було побудовано зовнішні швидкісні характеристики двигуна-прототипу та модернізованого двигуна автомобіля ВАЗ-21112 (рис. 2).

Аналізуючи отримані величини (табл. 1), можна зробити висновок про покращання характеристик модернізованого двигуна, порівняно з двигуном-прототипом, а саме:

- ефективна потужність зросла на 62 %;
- крутний момент збільшився на 63 %;
- питома витрата пального зменшилася більш ніж на 2,5 %.

Для перевірки економічності та динамічності оцінювали вдосконалення конструкції, матеріалоемності та питомої енергоемності двигуна, поліпшення працездатності автомобіля і його екологічності (табл. 2). Вдосконалення конструкції двигуна визначалося ступенем використання робочого об'єму й оцінювалося літровою потужністю. У модернізованого двигуна ступінь використання робочого об'єму вищий на 57,9 %, що говорить про значне покращання літрової потужності за рахунок використання механізму змінного ступеня стиснення.

Поліпшення працездатності автомобіля визначалося керованістю, динамічними та швидкісними якостями автомобіля й оцінювалося питомою потужністю. Питома енергоемність оцінювалася питомою

ефективною витратою пального.

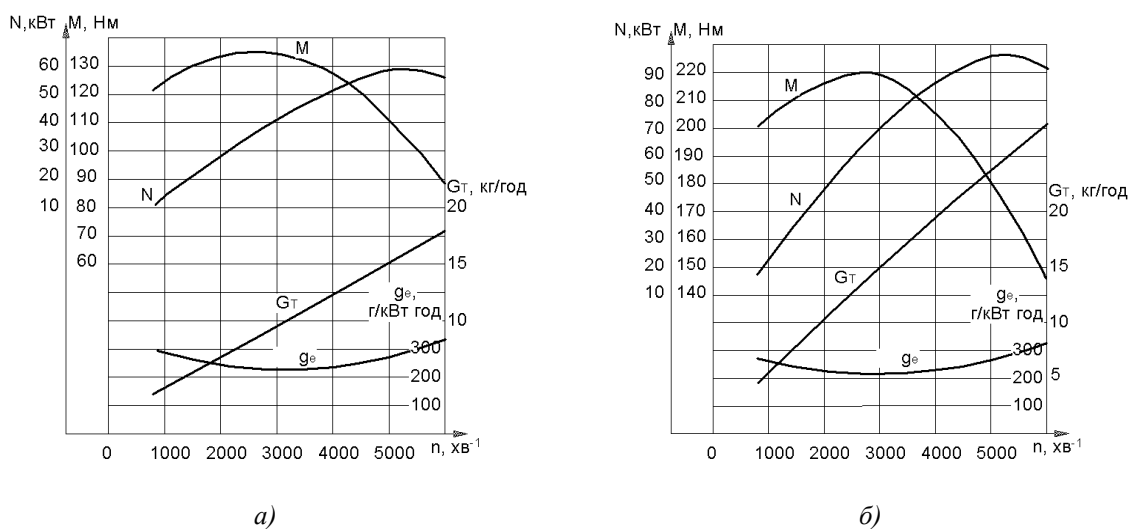


Рис. 2. Зовнішні швидкісні характеристики двигуна-прототипу (а) та модернізованого двигуна (б)

Таблиця 1

Порівняльні величини зовнішніх швидкісних характеристик двигунів

Параметр	Значення характеристик двигуна-прототипу / модернізованого двигуна					
	800	1500	2700	4000	5200	6000
Частота обертання $n$ , хв. <sup>-1</sup>	800	1500	2700	4000	5200	6000
Ефективна потужність $N_e$ , кВт	10,3 16,6	20,5 33,3	38,3 62,1	53,4 86,7	59,0 95,7	56,0 90,8
Крутний момент $M_e$ , Нм	122,5 199,3	130,6 212,6	135,4 220,3	127,6 207,6	108,3 176,3	89,1 145,0
Питома витрата пального $g_e$ , г/кВт·год.	292,4 284,8	263,7 256,9	238,2 232,1	244,4 238,1	281,4 274,1	322,7 314,4
Годинна витрата пального $G_T$ , кг/год.	2,99 4,67	5,41 8,42	9,12 14,20	13,06 20,34	16,6 25,8	18,07 28,13

Матеріалоемність двигуна визначалася досконалістю конструкції, раціональним вибором матеріалу та технології виготовлення й оцінювалася літровою масою. Літрова маса модернізованого двигуна збільшилася на 4,5 %, що пояснюється збільшенням маси двигуна за рахунок встановлення додаткових деталей та системи наддування. Слід зазначити, що робочий об'єм модернізованого двигуна змінюється за рахунок механізму змінного ступеня стиснення, таким чином, і літрова маса має змінну кількісну характеристику, але для спрощення розрахунків та порівняння двигунів було прийняте середнє значення робочого об'єму модернізованого двигуна, яке дорівнює літражу двигуна-прототипу. Питома матеріалоемність визначає питома маса, яка зменшилася на 35,6 %. Підвищена матеріалоемність двигуна компенсується суттєвим збільшенням потужності за рахунок використання системи змінного ступеня стиснення.

Екологічність двигуна визначалася кількістю шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Кількість шкідливих речовин у відпрацьованих газах за годину для модернізованого двигуна збільшилася на 55,7 %, що пояснюється підвищенням літрової потужності на 57,9 %. Оцінюючи шкідливі викиди на одиницю потужності, загальна екологічність покращилася на 3 %. Екологічність завжди є важливою проблемою при створенні двигуна зі змінним ступенем стиснення, оскільки при підвищенні температури й тиску в процесі згорання підвищуються і шкідливі викиди окислів азоту. Але використання для серійних двигунів трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів і мікропроцесорних систем управління двигуном, включаючи управління запаленням і механізмом зміни ступеня стиснення, дозволяє вирішувати ці проблеми.

Таблиця 2

Економічні показники двигуна-прототипу  
та модернізованого двигуна

Назва економічного показника	Позначення	Параметри двигунів (для $n = 5200 \text{ хв.}^{-1}$ )		
		прототипу	модернізованого	зміна, %
Маса автомобіля, кг	$G_a$	1030	1035	0,5
Маса двигуна, кг	$G_{\text{дв}}$	110	115	4,5
Робочий об'єм двигуна, л	$V_n$	1,596	1,640	2,8
Ефективна потужність, кВт	$Ne_{\text{max}}$	59	95,740	62,3
Літрова потужність, кВт/л	$N_n = \frac{Ne_{\text{max}}}{V_n}$	36,967	58,377	57,9
Питома потужність, кВт/кг	$N_g = \frac{Ne_{\text{max}}}{G_a}$	0,057	0,093	63,2
Ефективна питома витрата пального, г/кВт год.	$g_e$	281,372	274,140	-2,6
Кількість шкідливих речовин у відпрацьованих газах*, кмоль/год.	$M_{\text{шк.реч}} = M \cdot G_T$	7,978	12,419	55,7
Кількість шкідливих речовин на одиницю потужності, кмоль/год. кВт	$\frac{M_{\text{шк.реч}}}{Ne_{\text{max}}}$	0,134	0,130	3
Літрова маса, кг/л	$G_n = \frac{G_{\text{дв}}}{V_n}$	68,922	72,055	4,6
Питома маса, кг/кВт	$G_{\text{ієд.}} = \frac{G_{\text{дв}}}{Na_{\text{max}}}$	1,864	1,201	-35,6

\*Загальна кількість шкідливих речовин при повному згоранні пального  
 $M = M_{CO_2} + M_{N_2} = 0,48058 \text{ кмоль/кг пал.}$

**Висновки.** Дослідження роботи модернізованого двигуна автомобіля ВАЗ-21112 зі змінним радіусом кривошипу показало, що регулювання ступенем стиснення дозволяє покращити тягово-експлуатаційні показники двигуна більш ніж на 60 %. Питома витрата пального при цьому зменшується більш ніж на 2,5 %, що вказує на перспективність впровадження даної технології.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Самохин С.* Изменение неизменного / *С.Самохин* // Автомобиль и сервис. – 2008. – № 2. – С. 62–69.
2. *Шароглазов Б.А.* Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирования и расчёт процессов / *Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев.* – Челябинск : Изд. ЮУрГУ, 2004. – 344 с.
3. *Schwaderlapp M.* Variable Compression Ratio – A Design Solution for Fuel Economy Concepts / *M.Schwaderlapp, K.Habermann, K.I. Yapici.* – SAE 2002-01-1103. – 2002.
4. *Gooijer B.* Gomecsys BV : technical document / *B.Gooijer.* – 2002. – 12 p.
5. *Rapan G.* Variable compression ratio engine : romanian Patent RO115662B / *G.Rapan, I.Rapan.* – 2000.

МИЛЕНКО Андрій Леонідович – студент Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– автоматизоване проектування та конструювання автомобілів.

Тел.: (093)6180626.

E-mail: MAL57@ukr.net

МУДЬ Віталій Леонідович – студент Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– автоматизоване проектування та конструювання автомобілів

Тел.: (063)6953733.

E-mail: [eightelement@mail.ru](mailto:eightelement@mail.ru)

ТРИГУБ Оксана Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технічна експлуатація автомобілів;
- автоматизоване проектування автомобілів.

Тел.: (063)2801241.

E-mail: [toa\\_oks@ukr.net](mailto:toa_oks@ukr.net)

Подано 12.05.2010

**Миленко А.Л., Мудь В.Л., Тригуб О.А.** Дослідження роботи двигуна зі змінним радіусом кривошипу  
**Миленко А.Л., Мудь В.Л., Тригуб О.А.** Исследование работы двигателя со сменным радиусом кривошипа

**Milenko A.L., Mud V.L., Trigub O.A.** Research engine with removable crank radius

УДК 629.331.1

**Исследование работы двигателя со сменным радиусом кривошипа / А.Л. Миленко, В.Л. Мудь, О.А. Тригуб**

Определено экономические и эксплуатационные показатели работы модернизированного двигателя автомобиля ВАЗ- 21112 путем установки механизма изменения степени сжатия. Представлена оценка усовершенствования конструкции, материалоемкости и экологичности двигателя.

УДК 629.331.1

**Research engine with removable crank radius / A.L. Milenko, V.L. Mud, O.A. Trigub**

The economic and operational performance of a modernized engine VAZ 21112 by setting mechanism change in the degree of compression. The estimation of design improvements, material and экологичности engine.