

УДК 629.331.1

О.А. Тригуб, к.т.н., доц., О.Ю. Лук'янченко, к.т.н., доц.,  
Черкаський державний технологічний університет,  
Биченко С.М., к.і.н., Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

## ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗМІННОГО СТУПЕНЯ СТИСНЕННЯ В ДВИГУНАХ АВТОМОБІЛІВ ШВИДКОГО РЕАГУВАННЯ

Визначено, що встановлення механізмів зміни ступеня стиснення покращують економічні та експлуатаційні показники роботи бензинових двигунів. Представлено оцінку вдосконалення конструкцій, матеріалоємності та екологічності двигунів.

**Ключові слова:** автомобіль швидкого реагування, екологічність, ступінь стиснення в двигунах.

**Постановка проблеми.** 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 двигунів внутрішнього згорання (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 різна і найбільш ефективна робота може досягатися при різних ступенях стиснення.

**Аналіз останніх досліджень.** Аналіз досліджень в сфері оперативно-рятувальних автомобілів показує, що оптимальний ступінь стиснення для ДВЗ лежить в межах 13-15 [1]. Подальше збільшення  $\varepsilon$  не призводить до помітного поліпшення показників двигуна через зростання механічних втрат. В той же час цей параметр в сучасних бензинових двигунів зазвичай складає 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 і неекономно витрачає паливо. Якби ступінь стиснення був регульованим, на режимах холостого ходу і 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 наддуву зробило напрям цієї роботи ще актуальнішим. При наддуві 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.

**Викладення основного матеріалу.** Для збільшення потужності двигуна і підвищення економічності бажано знижувати ступінь стиснення на високочастотних режимах. Проте

якщо ступінь стиснення буде малим для всіх діапазонів роботи двигуна, це приведе до зниження потужності і збільшення витрати палива на низькочастотних режимах.

В разі переходу на змінний ступінь стиснення робочий процес в двигуні при наддуві можна організувати так, що за рахунок відповідного зниження ступеня стиснення при будь-яких тисках наддуву максимальні тиски робочого циклу (тобто ефективність роботи) залишатимуться незмінними або трохи змінюватимуться. При цьому не дивлячись на збільшення корисної роботи за цикл, а отже, і потужності двигуна, максимальні навантаження на його деталі можуть знаходитись в допустимих межах, що дозволяє форсувати двигуни без впровадження змін в 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 наддуву 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 в двигуні, що впливають на витрату палива і емісію токсичних компонентів:

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

Так, по відомостях з різних джерел, компактні VCR-двигуни з наддувом (з англ. «Variable Compression Ratio» - змінний ступінь стиснення) споживатимуть палива 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 в широких межах ступінь стиснення значно спрощує завдання створення багатопаливного двигуна, здатного однаково ефективно працювати на бензині, природному газі або спиртобензиновій суміші Е-85, особливо популярній в Швеції та США.

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

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

**Виклад 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, для стендових досліджень було обрано два механізми: в одному використовуються ексцентрикові втулки між шатунною шийкою колінчатого валу та нижньою головкою шатуна (рис. 1), в другому - траверсний механізм (рис. 2).

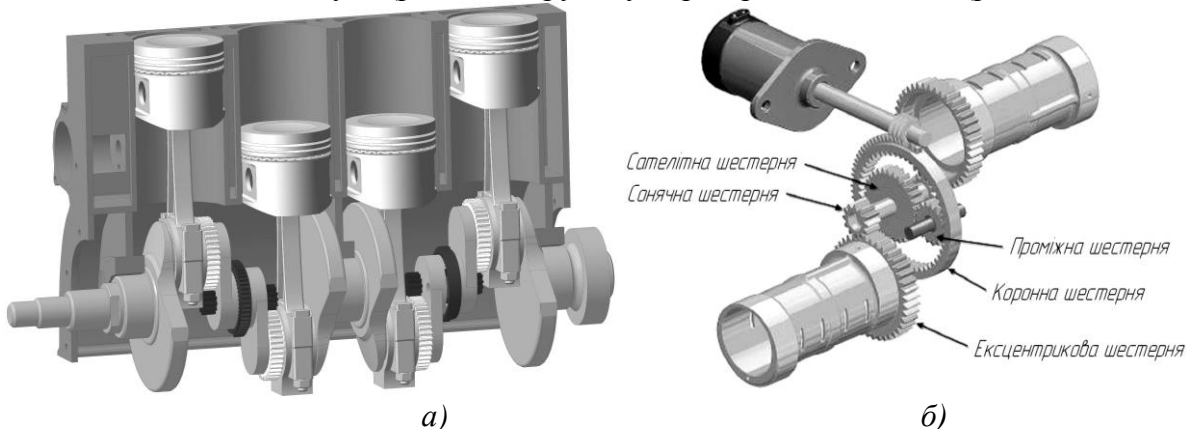


Рисунок 1 – Модель двигуна (а) з механізмом зміни ступеня стиснення (б).

Ексцентриковий 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].

В двигуні з траверсним механізмом змінюється стандартний шатун на новий, укорочений, який нижньою головкою з'єднаний з так званою траверсою. Траверса встановлюється на шатунній шийці колінчатого валу і закріплюється з кришкою болтовим з'єднанням. В нижню частину коромисла, яке змінює положення траверси, запресований ексцентриковий вал, що встановлюється в блок циліндрів на двох підшипниках кочення (Рис. 2, а). Через черв'ячне з'єднання електричний двигун призводить вал в обертальний рух, повернувшись на потрібний кут вал зупиняється. Колінчатий вал рухається разом з траверсою по визначеній траєкторії (Рис. 2, б).

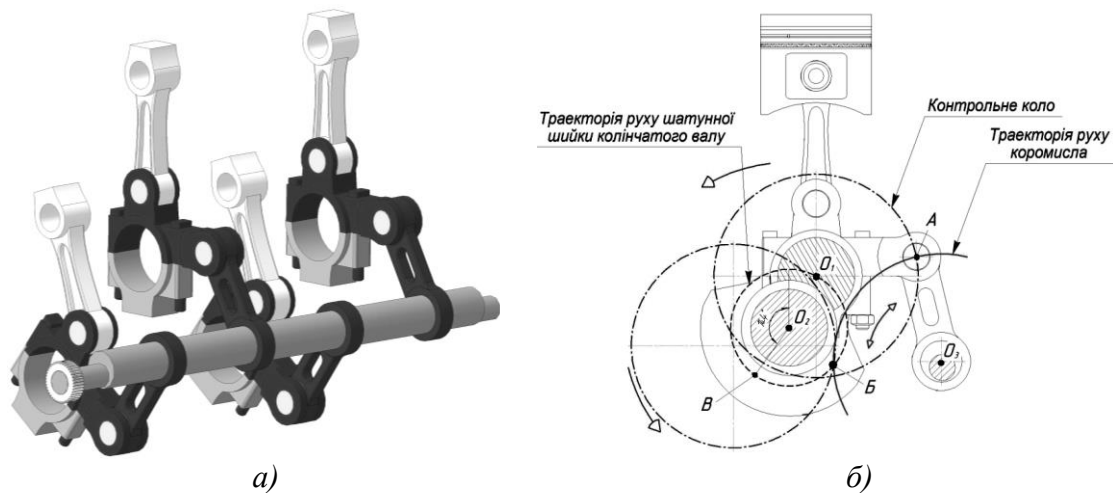


Рисунок 2 – Траверсний механізм (а) і його кінематика (б):  $O_1$  – центр шатунної шийки;  $O_2$  – центр корінної шийки;  $O_3$  – центр нижньої головки коромисла; А – верхнє положення верхньої головки траверси; Б – нижнє положення верхньої головки коромисла; В – положення шатунної шийки, при якому верхня головка коромисла починає рухатись з положення Б в положення А.

Дослідження проводилися на стендовому чотирициліндровому бензиновому двигуні. Діапазон зміни ступеня стиснення 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 палива (GDI);
- примусовий наддув повітря (CH).

Щоб провести аналіз та дати оцінку потужносним та експлуатаційним показникам при роботі двигуна з повним навантаженням було проведено необхідні вимірювання, аналізуючи результати яких, можна зробити висновок про покращення характеристик VCR- двигунів в порівнянні з двигуном, що має нерегульовану ступінь стиснення, а саме:

- зростання ефективної потужності на 30...62 %;
- збільшення крутного моменту на 31...63 %;
- зменшення питомої витрати палива більш ніж на 2,5 %.

Для перевірки економічності та динамічності оцінювали вдосконалення конструкції, матеріалоемності та питомої енергоемності двигуна, поліпшення працездатності автомобіля і його екологічність. Вдосконалення конструкції двигуна визначалася ступенем використання робочого об'єму й оцінювалася літровою потужністю. У VCR- двигунів ступінь використання робочого об'єму вища більш ніж на 57 %, що говорить про значне покращення літрової потужності за рахунок використання механізмів змінного ступеня стиснення.

Матеріалоемність двигуна визначалася досконалістю конструкції, раціональним вибором матеріалу та технології виготовлення і оцінювалася літровою вагою. Літрова вага VCR- двигунів збільшилась на 5...15 %, що пояснюється збільшенням маси двигуна за рахунок встановлення додаткових деталей та системи наддуву. Слід зазначити, що робочий об'єм модернізованого двигуна змінюється за рахунок механізму змінного ступеня стиснення, таким чином і літрова маса має змінну кількісну характеристику.

Питому матеріалоемність визначає питома вага, яка зменшилась на 35...40 %. 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 VCR- двигунів збільшилась майже вдвічі, що пояснюється підвищенням літрової потужності. Оцінюючи шкідливі викиди на одиницю потужності, загальна екологічність покращилась на 3 %. Екологічність завжди є важливою проблемою при створенні двигуна зі змінним ступенем стиснення, оскільки при підвищенні температури і 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.

**Висновок.** Дослідження роботи VCR- двигунів з ексцентриковим і траверсним механізмами показало, що регулювання ступенем стиснення дозволяє покращити потужності та експлуатаційні показники двигуна більш ніж на 30...40 %. Питома витрата палива при цьому зменшується більш ніж на 2,5 %, що вказує на перспективність впровадження даної технології.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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