

Корогодський Володимир Анатолійович, докт. техн. наук, професор каф. ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, korohodskiy@ukr.net

Журавель Олег Анатолійович, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ad6t20zoa@stud.khadi.kharkov.ua

Звірко Андрій Васильович, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ad119kdi@stud.khadi.kharkov.ua

Коваленко Дмитро Ігорович, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ad119kdi@stud.khadi.kharkov.ua

ВИБІР ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ НА БАЗІ МЕТОДУ ОБ'ЄМНОГО БАЛАНСУ ДЛЯ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ ТА ВНУТРІШНІМ СУМІШОУТВОРЕННЯМ

Для виконання сучасних нормативних вимог щодо викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами [1] та зниження витрати палива доцільно застосовувати у двигунах з іскровим запалюванням систему безпосереднього впорскування палива для забезпечення внутрішнього сумішоутворення [2].

Організація внутрішнього сумішоутворення в двигуні з іскровим запалюванням при безпосередньому впорскуванні палива дозволяє збіднити паливоповітряний заряд у надпоршневому об'ємі [3], що забезпечує підвищення індикаторних та ефективних показників двигуна [4] й призводить до зниження витрати палива та викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами [5, 6].

Для підвищення ефективності ДВЗ з іскровим запалюванням та безпосереднім впорскування палива доцільно дослідити особливості організації робочого процесу шляхом його моделювання. Результати моделювання дозволяють спрогнозувати та виявити основні фактори, які впливають на показники двигуна, скоротити час та засоби для проведення експериментальних досліджень.

Метою дослідження є вибір найбільш підходящої однозонної, двозонної або трizonної термодинамічної моделі, які ґрунтуються на методі об'ємного балансу при роботі двигуна на режимах навантажувальної характеристики.

Об'єктом дослідження є модернізований двотактний двигун 1Д 8,2/8,7 з іскровим запалюванням та двоканальною кривошипно-камерною продувкою. Двигун обладнаний повітряним охолодженням, застосовується система безпосереднього впорскування палива на базі механічного паливного насоса НВР-1 для реалізації робочого процесу з розшаруванням збідненого розшарованого паливоповітряний заряду.

Для оцінки результатів моделювання використовувалися експериментальні індикаторні діаграми, зареєстровані на режимах навантаження при $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$.

Аналітичні дослідження робочого процесу двигуна ґрунтуються на термодинамічному методі об'ємного балансу. Основні рівняння, що враховують

зміну надпоршневого об'єму протягом часу при переміщенні поршня в циліндрі та зміну об'ємів робочого тіла при перебігу робочого процесу двигуна представлені в роботі [7].

На режимах часткових навантажень ($p_e = 0,144; 0,192; 0,274; 0,322$ МПа) при організації розшарованого паливоповітряний заряду моделювання робочого процесу проводилося з урахуванням однозонної та тризонної моделі згоряння.

На режимі мінімального навантаження двигуна ($p_e = 0,144$ МПа) розбіжність рівня значень максимального тиску згоряння p_z між результатами розрахунків (однозонна модель) та експериментом становить 4,24 %. При використанні тризонної моделі згоряння різницю між розрахунковими значеннями p_z та експериментом скорочується до 3,73 %.

При цьому якщо на ділянці стиснення-згоряння результати p_z за однозонною та тризонною моделями практично не відрізняються, то на ділянці горіння-розширення в кінці процесу згоряння (29 гр. п.к.в. після ВМТ) [8] розбіжність з експериментом при розрахунку за тризонною моделлю скорочується на 5,05 %.

На режимі часткового навантаження двигуна при $p_e = 0,192$ МПа максимальні значення тиску згоряння, визначені експериментальним та аналітичним методом з урахуванням однозонної моделі, відрізняються до 4,69 %.

Розбіжність між значенням p_z , які отримано за тризонною моделлю згоряння та експериментальними даними становить 5,73 %.

Однак, при практично однакових розрахункових значеннях максимальних тисків, визначених за однозонною та тризонною моделями на ділянці стиснення-згоряння-ВМТ, на ділянці горіння-розширення наприкінці процесу згоряння (32 п.к.в. після ВМТ) розбіжність між теоретичними та експериментальними результатами досліджень скорочується на 2,95 %.

Зі збільшенням навантаження до $p_e = 0,274$ МПа певне значення p_z за експериментальною індикаторною діаграмою відрізняється від результатів моделювання за однозонною моделлю на 3,3 %.

При подальшому підвищенні навантаження до $p_e = 0,322$ МПа максимальні значення p_z при проведенні експерименту та розрахунку за однозонною моделлю відрізняються до 5,4 %.

У діапазоні середніх навантажень ($p_e = 0,274$ МПа и $p_e = 0,322$ МПа) розбіжності між значеннями p_z , які визначені за тризонною моделлю і в результаті експерименту становлять 3,5 % та 3,6 % відповідно.

Деяко вищі розбіжності (до 2,8 % при $p_e = 0,322$ МПа) між розрахунком по однозонній моделі та експериментом спостерігаються на ділянці горіння-розширення. При закінченні процесу згоряння (34 гр. п.к.в. після ВМТ при $p_e = 0,274$ МПа и 36 гр. п.к.в. після ВМТ $p_e = 0,322$ МПа) розбіжність між результатами розрахунку за тризонною моделлю та експериментом щодо однозонної моделі скорочується на 8,16 % та на 3,3 % відповідно.

На режимі навантажувальної характеристики при $n = 3000$ хв⁻¹ при підвищеному навантаженні $p_e = 0,428$ МПа максимальний тиск в циліндрі на

експериментальній індикаторній діаграмі відрізняється від результатів розрахунку по однозонній моделі на 5,38 %.

Оскільки на режимах підвищених навантажень розшарування паливоповітряний заряду відсутнє і весь надпоршневий об'єм займає однорідна паливоповітряна суміш без окремої зони повітря, то на цих режимах, відповідно, використовується двозонна модель, а не тризонна модель згоряння.

На режимі підвищеного навантаження ($p_e = 0,428$ МПа) розбіжність між розрахунковим значенням p_z , визначеним за двозонною моделлю згоряння та експериментальним значенням становить 1,66 %, що на 3,72 % має меншу різницю, ніж при моделюванні за однозонною моделлю згоряння.

На момент закінчення процесу згоряння (42 гр. п.к.в. після ВМТ) розбіжність між значеннями p_z , отриманими за двозонною моделлю та експериментом скорочується на 0,42 % порівняно зі значеннями, отриманими за однозонною моделлю згоряння.

Висновки

В результаті аналізу досліджень визначено найбільш переважні термодинамічні моделі, що базуються на методі об'ємного балансу для двигуна з іскровим запалюванням та внутрішнім сумішоутворенням на режимах навантажувальної характеристики ($n = 3000$ хв⁻¹).

1. На режимах часткових навантажень ($p_e = 0,144–0,322$ МПа) при організації розшарованого паливоповітряного заряду розрахунок індикаторної діаграми тиску газів у циліндрі по куту повороту колінчастого валу доцільно проводити за тризонною моделлю згоряння.

2. На режимах підвищених навантажень ($p_e = 0,428$ МПа) при організації однорідного паливоповітряного заряду по всьому надпоршневому об'єму перевагу має двозонна модель згоряння.

Література

1. ISO 8178-1: 2020 Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 1: Test-bed measurement systems of gaseous and particulate emissions [Electronic resource] / 4th ed., available at: <https://www.iso.org/standard/79330.html>.

2. Корогодский В.А. Миниэлектростанция на базе двигателя с перспективным рабочим процессом / В.А. Корогодский // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 4. – С. 53-56.

3. Корогодский, В.А. Влияние расслоенного топливно-воздушного заряда на показатели сгорания двухтактного двигателя с искровым зажиганием / В.А. Корогодский, О.Н. Стеценко, Е.А. Ткаченко // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – 2015. – Вип. 154. – С, doi: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.154.2015.66009>.

4. Корогодский, В.А. Влияние способа смесеобразования на индикаторный и эффективный КПД двухтактного двигателя / В.А. Корогодский // Автомобильный транспорт. – 2015. – Вып. 37. – С. 22-30.

5. Korohodskiy, V., Voronkov, A., Rogovyi, A., Kryshtopa, S., Lysytsia, O., Fesenko, K., Bezridnyi, V., Rudenko, N. (2021). Influence of the stratified fuel-air charge pattern on economic and environmental indicators of a two-stroke engine with spark ignition. *AIP Conf. Proc.: Transport, Ecology - Sustainable Development EKO Varna* Vol. 2439 (2021) 020011, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0068466>

6. Корогодский. В. А. Повышение топливно-экологических показателей двухтактного ДВС с искровым зажиганием за счет совершенствования процессов внутреннего смесеобразования / В. А. Корогодский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – №2. – С. 21-26.

7. Korohodskiy, V., Rogovyi, A., Voronkov, O., Polivyanchuk, A., Gakal, P., Lysytsia, O., Khudiakov, I., Makarova, T., Hnyr, M., & Haiek, Y. (2021). Development of a three-zone combustion model for stratified-charge spark-ignition engine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(5 (110), 46–57, doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.228812>

8. Корогодський В.А. Порівняння показників згоряння двотактного двигуна з карбюратором та безпосереднім впорскуванням палива / В.А. Корогодський // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2021. – №1. – С. 35–44, doi: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2021.1.05>

Кравченко Сергій Сергійович, к.т.н., завідувач кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок, національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», (Харків, Україна), Serhii.kravchenko@khpi.edu.ua, +38(097)1979129

Кузьменко Анатолій Петрович, к.т.н., доц. кафедри двигунів внутрішнього згоряння, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, kuzmatolja@gmail.com, +38(095)2557649

Солодкий Євген Ігорович, аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння, Харківський національний автомобільно-дорожній університет evgenijsolodkij98@gmail.com, +38 (066)083-4089

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ДВОСТАДІЙНОГО ВПОРСКУВАННЯ В ЦИЛІНДР

На сьогодні в сучасних дизелях для зниження шумності їхньої роботи та зменшення шкідливих викидів часто використовують такий засіб як двоступінчасте впорскування палива в циліндр [1,2]. Таке рішення приводить до двостадійного, порціонно рознесеного в часі процесу згоряння палива в циліндрі. При цьому попередня або пілотна порція палива служить для додаткового «розігріву» повітря на такті стиснення, що значно зменшує період затримки займання основної порції. Це дозволяє суттєво знизити рівень шуму згоряння (знижується максимальна швидкість наростання тиску в циліндрі), а також дозволяє отримати кращі економічні і екологічні показники.. Багатостадійне впорскування палива досить просто реалізовується в сучасних дизелях на яких встановлена паливна апаратура з електрогідравлічними