

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

Усов Олександр Олександрович, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ad1m22uoo@stud.khadi.kharkov.ua

Матиско Олексій Олександрович, аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, nebitnekrashen2017@gmail.com

Хомутов Максим Анатолійович, аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, m.a.homutov@gmail.com

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

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НАДПОРШЕВОГО ОБ'ЄМУ ДВОТАКТНОГО ДВИГУНА НА ІНТЕНСИВНІСТЬ РУХУ РОБОЧОГО ТІЛА В КАМЕРІ ЗГОРЯННЯ

Одним із ефективних способів поліпшення економічних та екологічних показників [1] двотактних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) з іскровим запалюванням є перехід від зовнішнього до внутрішнього сумішоутворення [2].

Найбільш перспективною організацією внутрішнього сумішоутворення (ВСУ) у двотактному ДВЗ з іскровим запалюванням є використання безпосереднього впорскування палива (БВП) в циліндр. Застосування ВСУ з використанням БВП у двотактному ДВЗ з іскровим запалюванням дозволяє організувати процеси сумішоутворення без втрат палива у випускну систему в період газообміну [3].

Організація ВСУ дозволяє до 2 разів знизити витрату палива за рахунок підвищення індикаторного ККД та додатково підвищити економічність (до 30 %) за рахунок виключення втрат палива при продувці циліндра [4]. При цьому, організація згоряння розшарованого збідненого паливоповітряного заряду також сприяє зниженню вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах [5].

Тому дослідження робочих процесів, що включає врахування інтенсивності руху робочого тіла в камері згоряння є актуальним.

Метою аналітичних досліджень є визначення впливу конструктивних особливостей надпоршневого об'єму двотактного двигуна 1Д 8,2/8,7 з іскровим запалюванням та внутрішнім сумішоутворенням на інтенсивність руху робочого тіла в камері згоряння.

Досягнення мети передбачає виконання наступних завдань:

- уточнення математичної моделі швидкості руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі при застосуванні напіврозділеної симетричної камери згоряння на тактах стиску та розширення;
- визначення швидкості руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі в залежності від площі витискувача;
- визначення швидкості руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі в залежності від зазору між днищем поршня та витискувачем камери згоряння у ВМТ.

Швидкість руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі двигуна можливо використовувати при розрахунках в моделях процесів ВСУ [6] та згоряння [7].

З цією метою проведено уточнення математичної моделі швидкості руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі при застосуванні напіврозділеної симетричної камери згоряння на тактах стиску та розширення.

Модель дозволяє розраховувати радіальну, осьову та сумарну швидкість руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі двотактного двигуна 1Д 8,2/8,7, враховуючи конструктивні особливості камери згоряння та днища поршня.

Для двотактного двигуна з іскровим запалюванням й напіврозділеною симетричною камерою згоряння зміну надпоршневого об'єму умовно можна представити як зміну об'єму між поверхнею витискувача і днищем поршня V_B та зміною об'єму між площиною поверхні горловини камери згоряння і днищем поршня V_K (рис. 1, 2):

$$dV_{BK} = dV_B + dV_K. \quad (1)$$

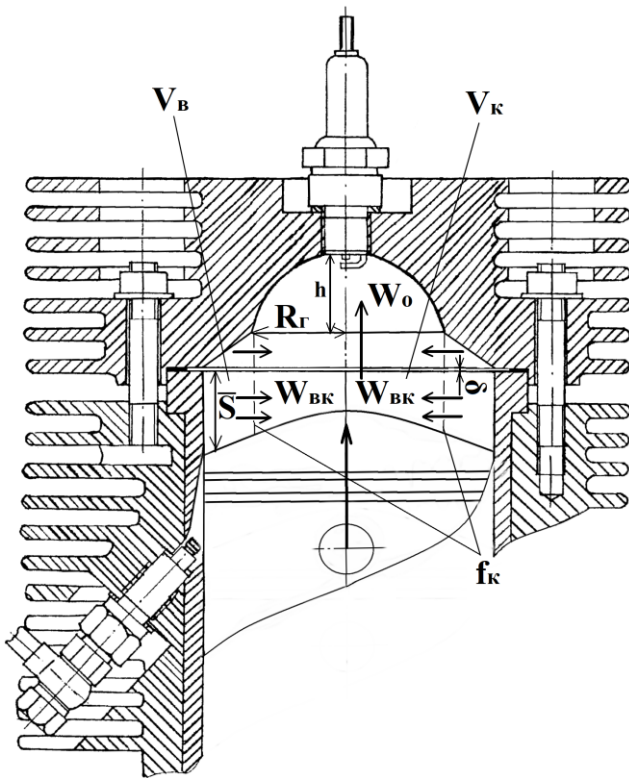


Рис. 1. Конструктивні особливості надпоршневого об'єму двигуна для визначення швидкості руху робочого тіла в циліндрі на такті стиску

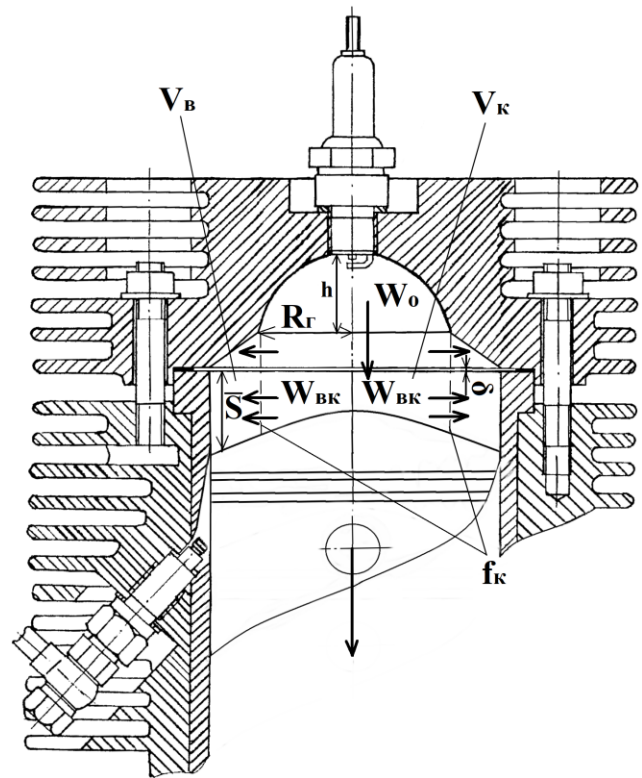


Рис. 2. Конструктивні особливості надпоршневого об'єму двигуна для визначення швидкості руху робочого тіла в циліндрі на такті розширення

Так як тиск та щільність заряду ρ на такті стиску й на такті розширення в надпоршневому об'ємі протягом розрахункового проміжку часу dt передбачається незмінним, то на такті стиску внаслідок відносно більшої

інтенсивності зменшення об'єму V_B (dV_B / V_B), ніж об'єму V_K (dV_K / V_K), частина робочого тіла з порожнини V_B переміститься у порожнину V_K (рис. 1). На такті розширення, навпаки, внаслідок відносно більшої інтенсивності збільшення об'єму

V_B (dV_B / V_B), ніж об'єму V_K (dV_K / V_K), напрямок руху частини робочого тіла спрямовано з порожнини V_K до порожнини V_B (рис. 2).

$$d(\rho \cdot V_{BK}) = \frac{V_K}{V} \cdot d(\rho \cdot V_B) = \frac{V - V_B}{V} \cdot d(\rho \cdot V_B)$$

або

(2)

$$dV_{BK} = \frac{V - V_B}{V} \cdot dV_B.$$

Кількість частини робочого тіла, що перетікає протягом розрахункового проміжку часу dt з порожнини V_B в порожнину V_K (такт стиску) (рис. 1), або з порожнини V_K в порожнину V_B (такт розширення) (рис. 2) може бути представлено через щільність заряду ρ , швидкість перетікання W_{BK} та площу каналу f_k , що з'єднує частину надпоршневого об'єму під витискувачем та днищем поршня з частиною надпоршневого об'єму між горловиною камери згоряння та днищем поршня.

$$d(\rho \cdot V_{BK}) = \rho \cdot f_k \cdot W_{BK} \cdot d\tau. \quad (3)$$

Тоді радіальна швидкість перетікання робочого тіла у порожнину під горловиною камери згоряння на такті стиску та у порожнину між поверхнею витискувача і днища поршня на такті розширення:

$$W_{BK} = \frac{d \cdot (\rho \cdot V_K)}{\rho \cdot f_k \cdot d\tau} = \frac{V - V_B}{V} \cdot \frac{1}{f_k} \cdot \frac{dV_B}{d\tau}. \quad (4)$$

Площа каналу f_k прийнято за площу поверхні стінки умовного циліндра з висотою \bar{S} , що дорівнює відстані від днища поршня до витискувача та радіусом рівним радіусу горловини камери згоряння R_Γ (рис. 2).

$$f_k = \bar{S} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_\Gamma \quad (5)$$

Сумарна швидкість руху робочого тіла $W_{\text{сум}}$ в надпоршневому об'ємі визначається з врахуванням радіальної швидкості перетікання заряду W_{BK} та осової швидкості заряду W_O :

$$W_{\text{сум}} = \sqrt{W_{\text{вк}}^2 + W_0^2}. \quad (6)$$

Результати розрахунків швидкості руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі в залежності від зміни площі витискувача $S_{\text{виг}}$ при постійному зазорі $\delta = 0,0004$ м між днищем поршня та витискувачем камери згоряння у ВМТ й постійною частотою обертання колінчастого валу $n = 3000$ хв⁻¹ наведено на рис. 3.

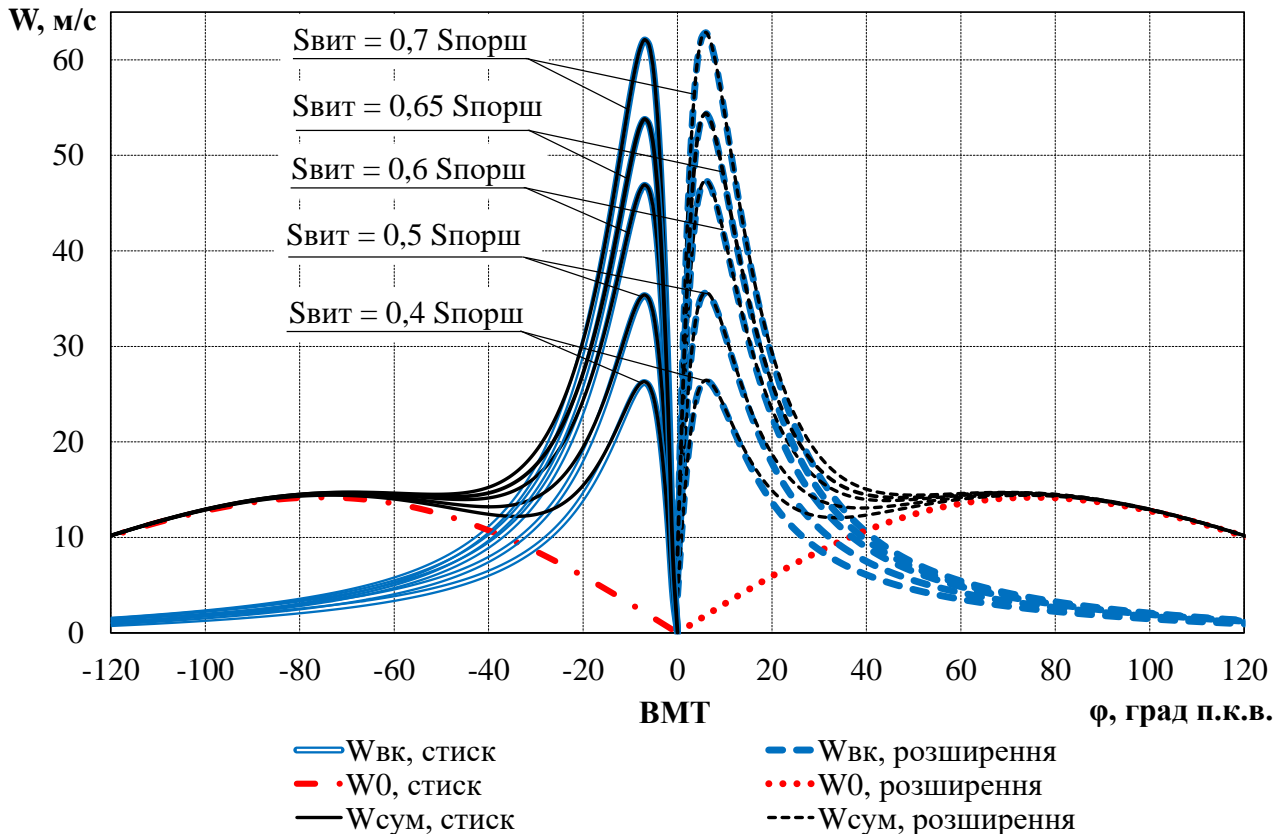


Рис. 3. Швидкість руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі в залежності від площі витискувача $S_{\text{виг}}/S_{\text{порш}}$ ($\delta = 0,0004$ м; $n = 3000$ хв⁻¹ – const)

Зміна площі витискувача $S_{\text{виг}}$ відносно площі поверхні днища поршня $S_{\text{порш}}$ від $S_{\text{виг}} = 0,4 \cdot S_{\text{порш}}$ до $S_{\text{виг}} = 0,7 \cdot S_{\text{порш}}$ не впливає на зміну осьової швидкості робочого тіла W_0 . При пересуванні поршня від НМТ до ВМТ значення осьової швидкості збільшується від 0 до 13,3 м/с (75 град. п.к.в. до ВМТ) та зменшується до 0 в ВМТ. Практично подібні значення осьової швидкості спостерігаються при переміщенні поршня на такті розширення від ВМТ до НМТ.

Значення радіальної швидкості $W_{\text{вк}}$ перетікання робочого тіла у порожнину під горловиною камери згоряння на такті стиску зі збільшенням площі витискувача зростає. Максимальна швидкість $W_{\text{вк}} = 62,1$ м/с при $S_{\text{виг}} = 0,7 \cdot S_{\text{порш}}$ спостерігається за 7 град. п.к.в. до ВМТ. Зі зменшенням площі витискувача до $S_{\text{виг}} = 0,4 \cdot S_{\text{порш}}$ значення максимальної радіальної швидкості зменшується до $W_{\text{вк}} = 26,2$ м/с (7 град. п.к.в. до ВМТ).

Значення сумарної швидкості руху робочого тіла $W_{\text{сум}}$ до 75 град. п.к.в. до ВМТ не значно відрізняється від осьової швидкості W_0 . При наближенні

поршня до ВМТ сумарна швидкість збільшується, на що впливає складова радіальної швидкості. Максимальна сумарна швидкість порівнянна радіальної швидкості руху робочого тіла. Практично подібні значення $W_{вк}$ та $W_{сум}$ спостерігаються на такті розширення симетрично ВМТ.

Враховуючи тенденції зміни сумарної швидкості руху $W_{сум}$ робочого тіла як на такті стиску, так й на такті розширення при зміні площі витискувача $S_{вит}$ та діапазон від 75 град. п.к.в. до ВМТ до положення поршня в ВМТ, де не зменшується рівень швидкості, у першому наближенні раціональна площа витискувача складатиме від $S_{вит} = 0,65 \cdot S_{порш}$ та більше.

Результати розрахунків швидкості руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі в залежності від зазору δ між днищем поршня та витискувачем камери згоряння у ВМТ при постійній площі витискувача ($S_{вит} = 0,65 \cdot S_{порш}$) та $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$ наведено на рис. 4.

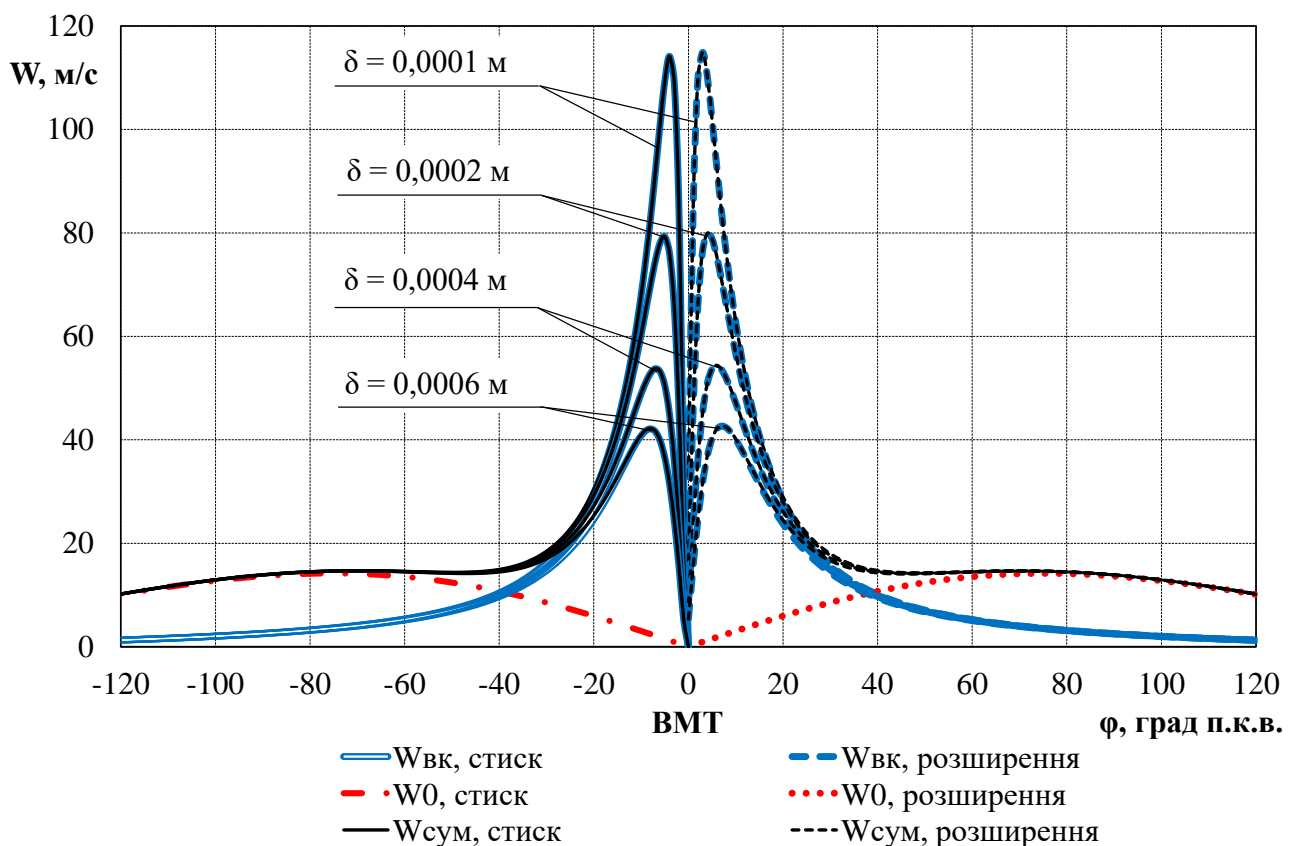


Рис. 4. Швидкість руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі в залежності від зазору δ між днищем поршня та витискувачем камери згоряння у ВМТ

($S_{вит} = 0,65 \cdot S_{порш}$; $n = 3000 \text{ хв}^{-1} - \text{const}$)

Зменшення зазору δ між днищем поршня та витискувачем камери згоряння у ВМТ від 6 до 1 мм спряє збільшенню як радіальної швидкості перетікання робочого тіла (до $W_{вк} = 114 \text{ м/с}$) у порожнину під горловиною камери згоряння на такті стиску, так й сумарної швидкості руху робочого тіла $W_{сум}$. Інтенсифікація руху заряду на такті стиснення дозволяє підвищити якість формування паливоповітряної суміші під час внутрішнього сумішоутворення з

застосуванням безпосереднього впорскування палива.

При цьому зменшення зазору δ також сприяє збільшенню радіальної W_{vk} та сумарної $W_{\text{сум}}$ швидкості руху робочого тіла на такті розширення з середини надпоршневого об'єму до порожнини між поверхнею витискувача та днищем поршня, що сприяє інтенсифікації руху заряду в процесі згоряння та доокиснення незгорілих часток палива, підвищуючи паливну економічність та знижуючи викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Вибір раціонального зазору між днищем поршня та витискувачем залежить від рівня технології виробництва двигунів та забезпечення ефективного перебігу процесів згоряння – підводу кисню в зону горіння та відводу від фронту полум'я продуктів згоряння.

У першому наближенні раціональний зазор δ між днищем поршня та витискувачем складатиме 4 мм.

Висновки

В результаті проведених досліджень уточнена математична модель визначення радіальної, осьової та сумарної швидкості руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі для напіврозділеної симетричної камери згоряння на тактах стиску та розширення.

Визначені значення радіальної, осьової та сумарної швидкості руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі в залежності від зміни площі витискувача ($S_{\text{вит}} = 0,4 - 0,7 \cdot S_{\text{порш}}$) камери згоряння на тактах стиску та розширення.

У першому наближенні визначена раціональна площа витискувача, яка складатиме $S_{\text{вит}} = 0,65 \cdot S_{\text{порш}}$.

Визначені значення радіальної, осьової та сумарної швидкості руху робочого тіла в надпоршневому об'ємі в залежності від зміни зазору ($\delta = 1 - 6$ мм) між днищем поршня та витискувачем камери згоряння у ВМТ на тактах стиску та розширення.

У першому наближенні визначено раціональний зазор δ між днищем поршня та витискувачем, який складатиме 4 мм.

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. Korohodskiy, V., Voronkov, A., Migal, V., Nikitchenko, I., Zenkin, E., Rublov, V. and Rudenko, N. (2020). Determining the criteria and the degree of the stratification of the air-fuel charge in a cylinder of a spark-ignition engine during injecting fuel. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **977** 012002. doi: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/977/1/012002>
3. Корогодський В.А. Визначення раціонального циклу та способу організації робочого процесу двигуна за навантажувальною характеристикою.

Вісник ХНАДУ, 2020. Вип. 90. С. 80–94, doi: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.80>

4. 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*, 2021. No. 2439 (2021) 020011, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0068466>

5. Корогодский В.А. Повышение топливно-экологических показателей двухтактного ДВС с искровым зажиганием за счет совершенствования процессов внутреннего смесеобразования. *Двигуни внутрішнього згорання*. – Харків: НТУ "ХП". – 2013. – №2. – С. 22–26. <http://dvs.khpi.edu.ua/article/view/21570/19078>

6. Корогодський В.А. Дослідження процесів масо – і теплообміну у паливному струмені з периферійним розподіленням палива / В.А. Корогодський, А.А. Хандримайлов, Є.С. Грайворонський. *Двигуни внутрішнього згорання*. – Харків: НТУ "ХП". – 2010. – №2. – С. 22–27. <http://dvs.khpi.edu.ua/article/view/61358>

7. Korohodskiy, V., Leontiev, D., Rogovyi, A., Kryshtopa, S. et al. Research of Spark Ignition Engine and Internal Mixture Formation Using Single-Zone, Two-Zone and Three-Zone Calculation Model of It Working Process. *SAE Technical Paper* 2022-01-1000, 2022, doi: <https://doi.org/10.4271/2022-01-1000>

Криштопа Людмила Іванівна, к.т.н., доц., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, auto.ifntung@ukr.net, l.i.kryshtopa@gmail.com

Власюк Юрій Станіславович, заввідділом автотехнічних досліджень та криміналістичного дослідження транспортних засобів Івано-Франківського науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України

Труханівський Андрій Михайлович, аспірант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Левко Андрій Васильович, магістр, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ПОКРАЩЕННЯ ПАЛИВНО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВЗ ШЛЯХОМ ЇХНЬОГО ПЕРЕВЕДЕННЯ НА ВОДНЕВІ ПАЛИВА

Метою даної роботи є експериментальні дослідження можливості використання альтернативних водневих палив для дизельних двигунів автомобільного транспорту з використанням теплоти відпрацьованих газів.

Теоретичні основи подібних систем живлення двигунів внутрішнього згорання в сучасній дослідницькій практиці залишаються маловивченими. Однак вони представляють суттєвий інтерес з точки зору оцінки потенційних можливостей застосування двигунів з термохімічною регенерацією в складі систем живлення і підвищення ефективності використання енергії