

А. П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф. НТУ«ХП»;
І. М. КАРЯГІН, наук. співр. НТУ«ХП»;
В. В. ПИЛЬОВ, асп. НТУ«ХП»

ЗНОС ПАЛИВНИХ СТРУМЕНІВ В ОБЄМІ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ТАНГЕНЦІЙНИМ ВИХОРЕМ РОБОЧОГО ТІЛА ЗГІДНО УДОСКОНАЛЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

В статті запропоновано удосконалення опису зносу паливних струменів тангенційним вихором робочого тіла в об'ємі камері згоряння дизеля у відомій моделі робочого процесу проф. М. Ф. Розлейцева. Воно дозволяє уточнити точки та кути контакту струменів зі стінкою камери згоряння, час їх розвитку, частину палива, що потрапила на стінку. Удосконалення полягає у врахуванні деформованості траєкторій вершин струменів та відносності швидкості робочого тіла до їх руху. Приведені результати моделювання зносу паливних струменів для дизеля 4ЧН12/14. Продемонстровано відмінність траєкторій струменів у нерухомій та пов'язаній із поршнем системах координат. Здійснено вимірювання слідів, утворених струменями на поверхні камери згоряння поршня. Виконано порівняння розрахункових та експериментальних даних.

Ключові слова: дизель, моделювання робочого процесу, вихор робочого тіла, деформація траєкторії паливного струменя, точка контакту струменю зі стінкою, перевірка моделі

Постановка проблеми. Відомо, що динаміка паливних струменів, на ряду з іншими факторами, оказує вплив на якість робочого процесу та економічність дизеля [1, с. 108-122; 2; 3, с. 49-52; 4]. Розвиток струменів в значній мірі залежить від наявності та інтенсивності вихоревого руху повітряного заряду в циліндрі. Він впливає на співвідношення частин поданого палива, що випаровуються в об'ємі камери згоряння та з її стінки [2; 3, с. 70-82], а також на швидкість турбулентної дифузії кисню в зони сумішоутворення [5, с. 113; 6] і, через це, на швидкість згоряння. Від зносу вихором кожного паливного струменя залежить момент появи, розвиток та форма паливної плівки, утвореної ним на стінці камери згоряння [1, с. 121-122; 2; 3, с. 64-67]. Тому у разі наявності ефекту її частково-динамічної теплоізоляції від вихоря залежить високочастотний нестационарний температурний стан поверхні деталей. Треба відзначити, що більш точне визначення траєкторій паливних струменів також необхідне при оптимізації форми як традиційної, так і оснащеної турбулізаторами повітря, камери згоряння [7].

Аналіз публікацій. У сучасних варіантах моделі робочого процесу проф. М. Ф. Розлейцева опис впливу вихоря базується на законах взаємодії потоку з краплею палива [8] і здійснюється у практично однаковий спосіб [3, с. 57; 7; 9, с. 29-30; 10]. Враховується лише тангенційна складова швидкості руху повітряного заряду, що розглядається згідно законів властивих твердому тілу. За силу, яка діє на кожную краплину палива усередненої маси, приймається гідродинамічний опір руху цієї краплини зі швидкістю, яка є горизонтальною складовою швидкості тангенційного вихоря, перпендикулярною осі розпилюючого отвору.

З урахуванням сучасних можливостей щодо моделювання процесів і необхідністю аналізу нових явищ в циліндрі дизеля, наприклад ефекту частково-динамічної теплоізоляції камери згоряння, модель проф.

М. Ф. Розлейцева потребує подальшого розвитку.

Модель зносу паливних струменів вихором, зокрема, повинна враховувати наступне: вплив на струмінь з боку повітря в дійсності відбувається зі швидкістю відносною до руху факелу; при деформації траєкторій струменів значення цієї швидкості відрізняються від визначених на осі розпилюючого отвору; повний лобовий супротив нелінійно залежить від швидкості руху краплі, тому його проекції на окремі напрямки не можуть визначатись як функції відповідних проекцій швидкості. Додатково, обмеження розвитку струменя профілем стінки камери згоряння повинно здійснюється з урахуванням деформованості траєкторій та руху поршня, що виконується лише в [10].

Нами було запропоновано уточнений математичний опис явища, що враховує вказані особливості.

На цій основі **метою** роботи є перевірка запропонованої удосконаленої моделі зносу струменя вихором на відповідність її результатів експериментальним даним.

Матеріали дослідження. Моделювання було виконано для двигуна 4ЧН12/14 на номінальному режимі роботи ($N_e = 100$ кВт, $n = 2000$ хв⁻¹) згідно даних [11]. Напрямок обертання повітряного заряду прийнято проти годинникової стрілки при виді зверху, що відповідає першому та третьому циліндрам. Вихореве відношення

$$H = \omega_{\text{вихр}} / \omega_{\text{кв}}$$

при цьому задавалось незмінним і приблизно дорівнювало 3, де $\omega_{\text{вихр}}$, $\omega_{\text{кв}}$ – кутові швидкості обертання вихорю та колінчастого вала.

Проекції траєкторій вершин чотирьох паливних струменів на координатні площини приведено на рис. 1, 2. Тут використана система координат x, y, z , пов'язана з нерухомими деталями. За її початок обрано точку на перетині площини головки з віссю циліндра.

При цьому було отримано відмінний час розвитку для усіх паливних струменів. Різниця у досягненні стінки парами довгих та коротких струменів становить 3 і 4 гр. п.к.в.

Для визначення координат точок контакту струменів зі стінкою вони додатково розглянуті на рис. 3 в рухомій системі відліку, пов'язаній з поршнем. Її початок розташовано на осі поршня в площині його денця, вісь $z_{\text{п}}$ направлена аналогічно введений раніше осі z . При цьому зручно замість декартових координат використати циліндричні, задавши полярний кут φ (див. рис. 1) чи пов'язану з ним лінійну окружну координату $\varphi \cdot d_{\text{кк}} / 2$, де $d_{\text{кк}} = 67$ мм – діаметр камери згоряння в поршні.

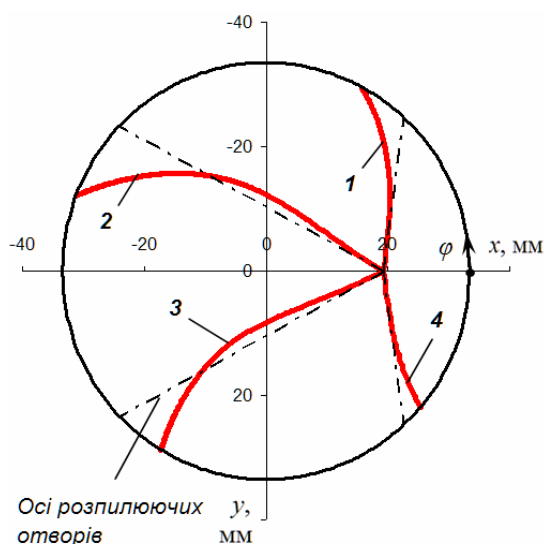


Рис. 1 – Траєкторії вершин паливних струменів 1-4 у горизонтальній площині

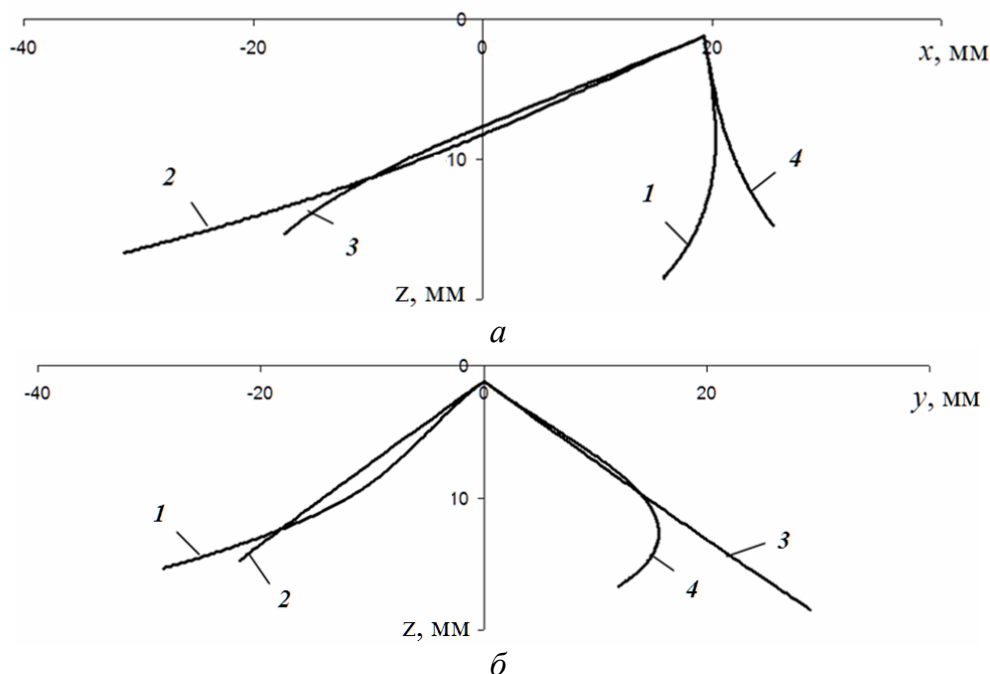


Рис. 2 – Траєкторії вершин паливних струменів у вертикальних площинах:
 а – xz (що перетинає розпилювач); б – yz .

Порівняння з експериментом. Через зниження температури поршня під паливною плівкою, і особливо в зонах приходу струменів на стінку, на її поверхні виникає шар нагару, який утворює достатньо чіткі відпечатки. Координати реальних точок контакту струменів зі стінкою визначались вимірюванням цих слідів, подібно [7; 12]. Їх порівняння з розрахованими величинами проведено у табл. 1 та на рис. 4. При цьому, для полегшення аналізу значення кута φ у другому та четвертому циліндрах, вихор в яких обертається за годинниковою стрілкою, використані зі зворотнім знаком.

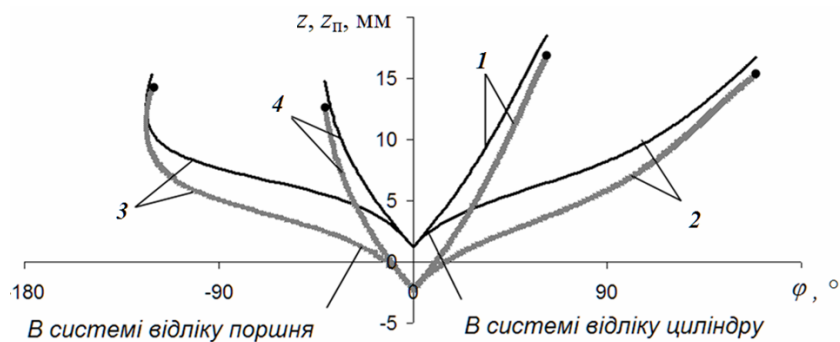


Рис. 3 – Траєкторії вершин паливних струменів відносно полярного кута

Таблиця 1 – Координати точок контакту струменів зі стінкою

	Експериментальні дані												Розрахунок			
	1-й циліндр				2-й циліндр				4-й циліндр							
Струмінь	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
$\varphi \cdot d_{\text{кц}}/2$	42,5	96,5	-63,4	-10	38	97	-64,5	-12,5	40	90	-72,5		36,2	92,9	-70,7	-23,9
$Z_{\text{п}}$	9	10,2	9,5	10	14	12	11,5	15	8	9	10		16,8	15,3	14,1	12,6

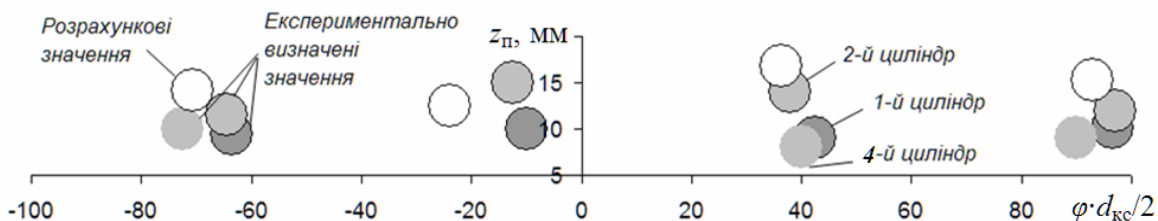


Рис. 4 – Порівняння розрахованих та вимірених точок контакту струменів зі стінкою

Максимальне відхилення розрахункового значення від експерименту в окружному напрямку спостерігається для третього струменя першого циліндра і становить 7 мм, у вертикальному напрямі – 9 мм для першого струменя четвертого циліндру. При цьому величина та напрямок відхилення результатів для різних струменів є суттєво подібними, що особливо чітко спостерігається для першого, другого і третього струменів першого та другого циліндрів. Розбіг значень вертикальних координат для різних струменів у кожному блоці даних не перевищує 4 мм.

Висновки. Порівнянням розрахункових та експериментальних точок контакту струменів зі стінкою підтверджено достатню точність запропонованого уточненого опису зносу паливних струменів вихором робочого тіла в моделі робочого процесу М. Ф. Розлейцева.

Подальший напрямок робіт пов'язаний із удосконаленням частини математичної моделі, що описує розвиток паливної плівки на стінці під дією вихорю, урахуванням його вертикальної складової та згасання, викликаного взаємодією зі стінкою.

Список літератури: 1. Процессы в перспективных дизелях / Шеховцов А. Ф., Абрамчук Ф. И., Крутов В. И. и др. ; под ред. А. Ф. Шеховцова. – Харьков: Изд-во «Основа», 1992. – 352 с. 2. Марченко А. П. Методика расчета движения и распределения топлива в камере сгорания дизелей со струйным смесеобразованием / Марченко А. П., Сукачев И. И., Гаврилов В. В. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. – №1. – С. 53-58. 3. Сукачов І. І. Поліпшення паливної економічності форсованих дизелів шляхом узгодження характеристик впрыскування палива та форми камери згоряння : дис. канд. техн. наук. : спец. 05.05.03 «Теплові двигуни» / Сукачов Іван Іванович. – Харків, 2005. – 233 с. 4. Подача и распыливание топлива в дизелях / И. В. Астахов, В. И. Трусов, А. С. Хачиян и др. – М. : Машиностроение, 1971. – 360 с. 5. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Вырубов Д. Н., Иващенко Н. А., Ивин В. И. и др. ; под ред. А. С. Орлина. – М. : Машиностроение, 1983. – 372 с. 6. Чирков А. А. Проблемы управления турбулентностью при смесеобразовании и горении в дизелях / Чирков А. А. // Энергомашиностроение. – 1971. – №6. – С. 16-19. 7. Марченко А. П. Особенности процессов испарения и выгорания топлива в дизеле с турбулизирующими элементами камеры сгорания / Марченко А. П., Карягин И. Н., Сукачев И. И. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – №2. – С. 3-8. 8. Вырубов Д. Н. Смесеобразование в дизелях // Рабочие процессы двигателей внутреннего сгорания и их агрегатов / Вырубов Д. Н. – М. : Машгиз, 1946. – С. 5-54. 9. Кулешов А. С. Программа расчета и оптимизации двигателей внутреннего сгорания ДИЗЕЛЬ-РК. Описание математических моделей, решение оптимизационных задач / Кулешов А. С. – М. : МГТУ им. Баумана, 2004. – 123 с. 10. РК-модель: Расчет смесеобразования и сгорания в дизеле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=rk-model> 11. Оценка влияния режимных факторов на параметры температурного высокочастотного колебания в поверхностном корундовом слое поршня / А. П. Марченко, В. В. Шпаковский, И. И. Сукачев та ін. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №1. – С. 65-69. 12. Быков В. И. Экспериментальный метод оценки взаимодействия топлива со стенками камеры сгорания дизеля / Быков В. И., Парсаданов И. В., Строчков А. П. // Двигатели внутреннего сгорания. – 1987. – Вып. 46. – С. 48-52.

Bibliography (transliterated): 1. Processy v perspektivnyh dizeljah / Shehovcov A. F., Abramchuk F. I., Krutov V. I. i dr. ; pod red. A. F. Shehovcova. – Harkov: Izd-vo «Osnova», 1992. – 352 s. 2. Marchenko A. P. Metodika rascheta dvizhenija i raspredelenija topliva v kamere sgoranija dizelej so strujnym smeseobrazovaniem / Marchenko A. P., Sukachev I. I., Gavrilov V. V. // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2005. – #1. – S. 53-58. 3. Sukachov I. I. Polipshennya palyvnoyi ekonomichnosti forsovanых dyzeliv shlyakhom uz-hodzhennya kharakterystyk vpryskuvannya palyva ta formy kamery z-horyannya : dys. ... kand. tekhn. nauk. : spets. 05.05.03 «Теплови dvyhuny» / Sukachov Ivan Ivanovych. – Kharkiv, 2005. – 233 s. 4. Podacha i raspylivanie topliva v dizeljah / I. V. Astahov, V. I. Trusov, A. S. Hachijan i dr. – M. : Mashinostroenie, 1971. – 360 s. 5. Dvigateli vnutrennego sgoranija: Teorija porshnevnyh i kombinirovannyh dvigatelej / Vyrubov D. N., Ivashhenko N. A., Ivin V. I. i dr. ; pod red. A. S. Orlina. – M. : Mashinostroenie, 1983. – 372 s. 6. Chirkov A. A. Problemy upravlenija turbulentsostju pri smeseobrazovanii i gorenii v dizeljah / Chirkov A. A. // Jener-gomashinostroenie. – 1971. – #6. – S. 16-19. 7. Marchenko A. P. Osobennosti processov ispare-nija i vygoranija topliva v dizele s turbulizirujushhimi jelementami kamery sgoranija / Marchenko A. P., Karjagin I. N., Sukachev I. I. // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2008. – #2. – S. 3-8. 8. Vyrubov D. N. Smeseobrazovanie v dizeljah // Rabochie processy dvigatelej vnutrennego sgoranija i ih agregatov / Vyrubov D. N. – M. : Mashgiz, 1946. – S. 5-54. 9. Kuleshov A. S. Programma rascheta i opti-mizacii dvigatelej vnutrennego sgoranija DIZEL-RK. Opisanie matematicheskikh modelej, reshenie optimizacionnyh zadach / Kuleshov A. S. – M. : MG TU im. Baumana, 2004. – 123 s. 10. RK-model: Raschet smeseobrazovanija i sgoranija v dizele [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=rk-model> 11. Ocenka vlijanija rezhimnyh faktorov na parametry temperaturnogo vysokochastotnogo kolebanija v poverhnostnom korundovom sloe porshnja / A. P. Marchenko, V. V. Shpakovskij, I. I. Sukachev ta in. // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2010. – #1. – S. 65-69. 12. Bykov V. I. Jeksperimentalnyj metod ocenki vzaimodejstvija topliva so stenkami kamery sgoranija dizelja / Bykov V. I., Parsadanov I. V., Strokov A. P. // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 1987. – Vyp. 46. – S. 48-52.

Надійшла (received) 20.03.2014