

А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, А.В. Савченко, І.М. Карягін

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ПАЛИВОПОДАЧІ НА ІНДИКАТОРНІ ПОКАЗНИКИ ДИЗЕЛЯ ПРИ РОБОТІ НА ВОДОПАЛИВНІЙ ЕМУЛЬСІЇ

У статті надана методика експериментального дослідження особливостей роботи дизеля на водопаливній емульсії (ВПЕ). Наведені результати оцінки впливу параметрів системи паливоподачі на показники дизеля. В якості параметрів, що варіювалися, обрані кут випередження впорскування палива та ефективний прохідний переріз розпилюючих отворів форсунки. Основну увагу приділено впливу зазначених параметрів на процес згоряння в дизелі. У ході дослідження проведено порівняння отриманих залежностей при роботі дизеля на ВПЕ і на дизельному паливі в однакових умовах, визначено характер і ступінь впливу обраних параметрів на показники дизеля. Зроблено висновок про можливість комплексного покращення показників дизеля на ВПЕ шляхом вибору раціональних параметрів системи паливоподачі.

Вступ

Використання водопаливних емульсій (ВПЕ) є ефективним засобом покращення економічних і, насамперед, екологічних показників дизеля. Власності ВПЕ є відмінними від стандартного дизельного палива (ДП), що обумовлює зміни в перебігу процесу згоряння [1-7]. Використання дизеля, оптимізованого за економічними та екологічними показниками для роботи на ДП, не може забезпечити найбільш ефективного використання ВПЕ. Важливим є вибір раціональних для ВПЕ параметрів дизеля з урахуванням характерних особливостей перебігу процесу згоряння цього виду палива в циліндрі дизеля.

Метою дослідницьких робіт є створення і ідентифікація математичної моделі дизеля на ВПЕ, за допомогою якої буде обрано раціональні параметри дизеля при роботі на ВПЕ. Для ідентифікації математичної моделі необхідним є проведення експериментальних досліджень, результати яких наведені в роботі. Отримані дані про вплив кута випередження впорскування палива та ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів форсунки на протікання процесу згоряння дозволять підвищити ступінь відповідності експериментальних даних результатам математичного моделювання.

Аналіз літератури

За даними експериментальних досліджень і вивчення властивостей ВПЕ і їх впливу на згоряння в дизелі встановлено, що існують суттєві відмінності перебігу процесів сумішоутворення і згоряння для ВПЕ і ДП [1-7].

Процес згоряння ВПЕ значною мірою залежать від вмісту води у паливі, складу та кількості емульгатора, ступеня дисперсності води в паливі тощо. Саме ці параметри палива визначають зафіксовані у ході експерименту відмінності кількісних характеристик згоряння різних ВПЕ. Однак, більшість дослідників відзначають схожу залежність процесу згоряння та робочого процесу дизеля на ВПЕ в цілому від параметрів систем подачі палива.

Дослідження роботи дизеля при використанні ВПЕ показали незначне зниження температури відпрацьованих газів (ВГ) та тиску наддувного повітря [1,4,6,7], збільшення періоду затримки спалахування палива та інтенсифікацію процесу згоряння в період спалаху [1,3-5], зниження максимальної температури робочого циклу [1,4,6,7], зниження димності ВГ та рівня викидів оксидів азоту з ВГ дизеля [1-7].

Методика експериментального дослідження дизеля на ВПЕ

Комплексні експериментальні дослідження проведені на автотракторному дизелі 4ЧН12/14 з безпосереднім впорскуванням палива до камери згоряння в поршні, газотурбінним наддувом та проміжним охолодженням наддувного повітря. Дизель був встановлений на випробувальний стенд, що укомплектований необхідним обладнанням і контрольно-вимірювальними приладами, відповідно до методик експериментальних досліджень за нормативно-технічною документацією.

Дослідження проведені на дизельному паливі та водопаливній емульсії (ВПЕ) при частотах обертання колінчастого валу 2000 хв^{-1} і 1500 хв^{-1} . Для проведення випробувань використовувалась ВПЕ з масовою часткою води 13%. На кожному режимі визначалися такі показники дизеля: масова витрата палива, масова витрата повітря, тиск наддувного повітря, температура повітря після повітроохолоджувача, температура відпрацьованих газів, температура та тиск мастила, температура охолоджуючої рідини. Паралельно здійснювалась реєстрація індикаторних діаграм, переміщення голки форсунки та осцилограма тиску палива перед форсункою. Випробування на дизельному паливі проводилися для порівняння характеру та ступеня впливу однакових змін параметрів системи паливоподачі на показники робочого процесу при роботі на ВПЕ.

Обробка результатів вимірювань здійснювалась за допомогою програмного комплексу, який розроблено на кафедрі ДВЗ НТУ «ХП». Цей комплекс

дозволяє проводити визначення верхньої мертвої точки (ВМТ), дроблення на окремі послідовні цикли роботи ДВЗ за 720 значеннями ординат тисків, усереднення за заданою кількістю робочих циклів, визначення середньої частоти обертання колінчастого вала. За отриманими даними проводиться інтерполяція, згладжування, визначення абсолютного тиску і корекція положення нульової лінії тиску. Результуючими роботи програми є масив значень тиску в циліндрі, масив значень тиску палива перед форсункою, індикаторні показники, закон ефективного тепловиділення, швидкість наростання тиску в

циліндрі.

Вплив кута випередження впорскування палива на показники дизеля

Індикаторні діаграми дизеля на ВПЕ при трьох різних значеннях кута випередження впорскування палива при частоті обертання колінчастого вала 1500 хв^{-1} і 2000 хв^{-1} наведені на рисунку 1. Встановлено, що при збільшенні кута випередження впорскування палива процес згоряння починається раніше, а максимальний тиск циклу збільшується. Ці закономірності відзначено як для ВПЕ, так і ДП.

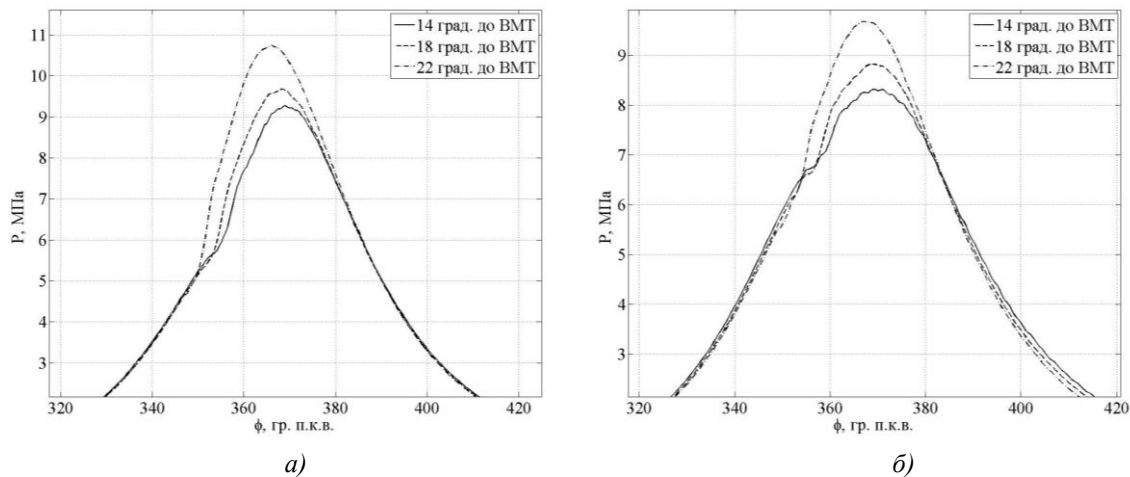


Рис. 1. Фрагмент індикаторної діаграми дизеля на ВПЕ при різних значеннях кута випередження впорскування палива:

а – 1500 хв^{-1} , 76 кВт; б – 2000 хв^{-1} , 90 кВт

Залежність швидкості зміни тиску в циліндрі дизеля від кута повороту колінчастого вала для різних значень кута випередження впорскування палива наведена на рисунку 2. Максимальна швидкість підвищення тиску в циліндрі дизеля при куті випередження впорскування палива 22 град. п.к.в.

до ВМТ приблизно вдвічі більша, ніж при куті 14 град. п.к.в. до ВМТ. Різке підвищення максимальної швидкості змін тиску спричиняє підвищення жорсткості робочого процесу, збільшення ударних навантажень і рівня шуму при роботі дизеля.

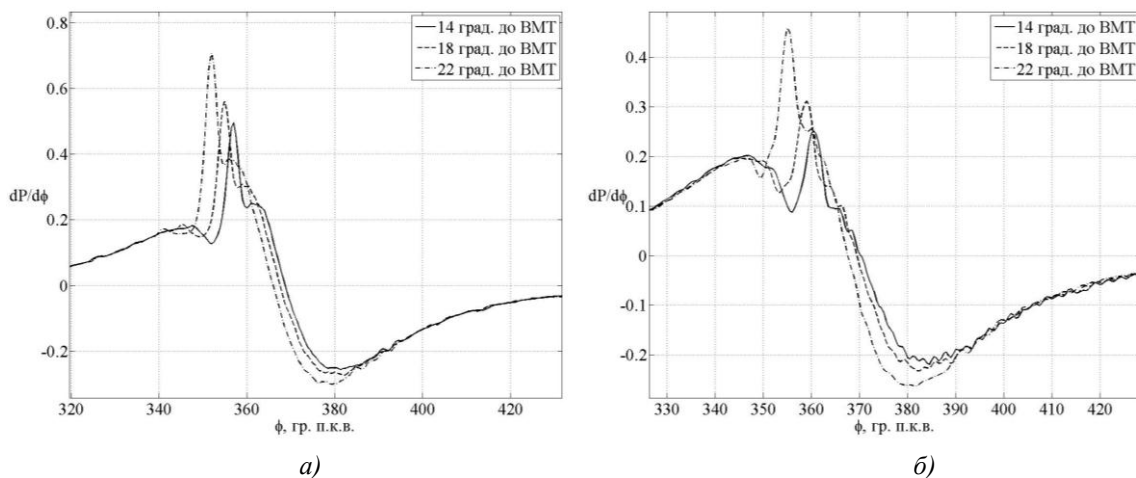


Рис. 2. Швидкість зміни тиску в циліндрі дизеля на ВПЕ при різних значеннях кута випередження впорскування палива:

а – 1500 хв^{-1} , 76 кВт; б – 2000 хв^{-1} , 90 кВт

Залежність температури в циліндрі дизеля від кута повороту колінчастого валу при різних кутах випередження впорскування палива наведено на рисунку 3. У межах діапазону варіювання кута випередження впорскування палива відзначено, що ранній момент подачі палива спричиняє підвищення максимальної температури циклу та водночас помітне зниження температури на лінії розширен-

ня, що свідчить про підвищення індикаторного ККД дизеля. Зазначене підвищення максимальної температури циклу негативно впливає на екологічні показники дизеля. Зниження температури газів наприкінці такту розширення має призвести до зменшення потужності турбіни турбокомпресора, а отже, і до зниження тиску наддуву.

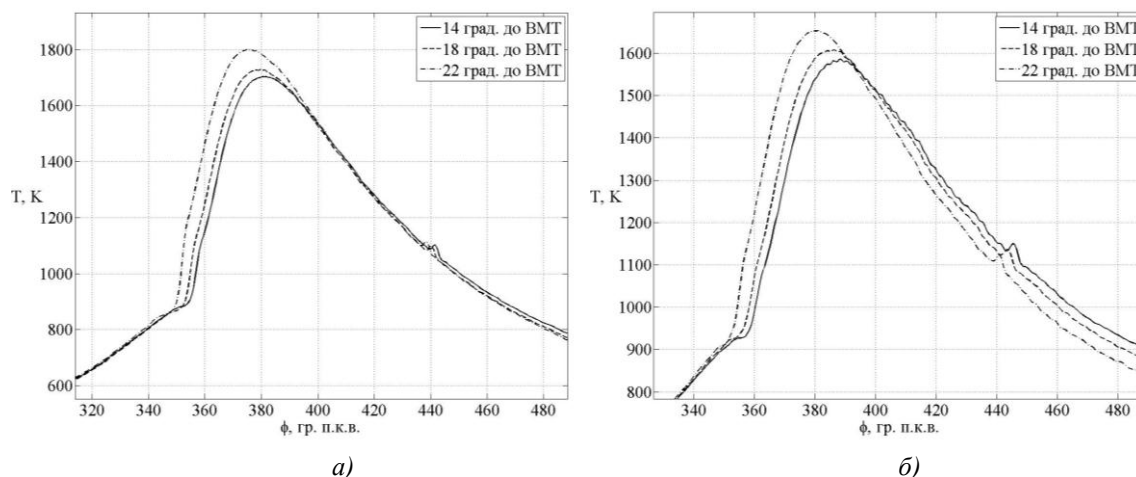


Рис. 3. Температура в циліндрі дизеля на ВПЕ при різних значеннях кута випередження впорскування палива:

а – 1500 хв^{-1} , 76 кВт; б – 2000 хв^{-1} , 90 кВт

Диференційне тепловиділення в циліндрі дизеля на ВПЕ змінюється відповідним чином при різних кутах випередження впорскування палива (рис. 4). Збільшення кута випередження впорскування палива призводить, головним чином, до збі-

льшення періоду затримки спалахування та інтенсифікації процесу згоряння протягом періоду спалаху палива. Період затримки спалахування збільшується внаслідок зменшення температури і тиску в циліндрі в момент початку подачі палива.

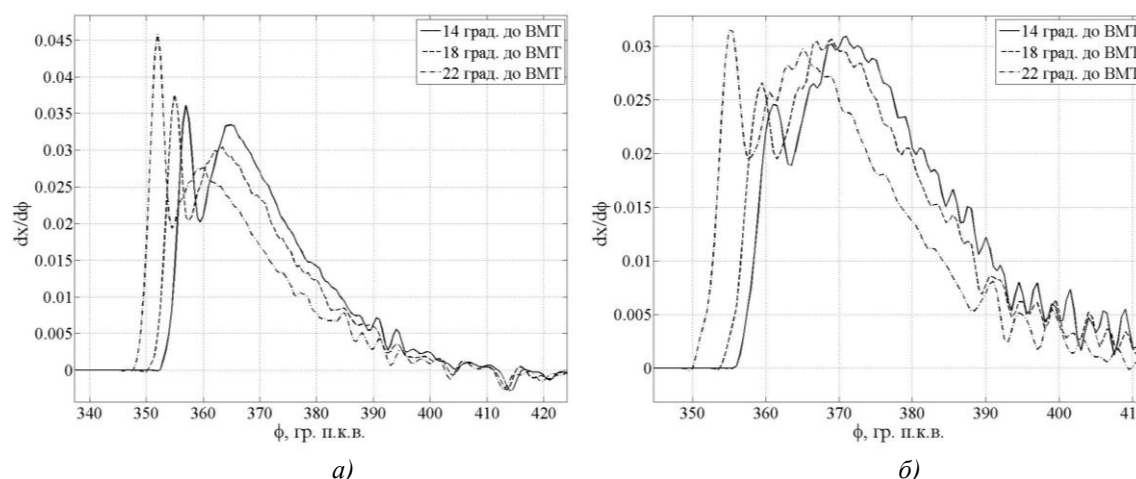


Рис. 4. Диференційне тепловиділення в циліндрі дизеля на ВПЕ при різних кутах випередження впорскування палива:

а – 1500 хв^{-1} , 76 кВт; б – 2000 хв^{-1} , 90 кВт

При зменшенні кута випередження впорскування палива з 22 до 18 град п.к.в. питома ефективна витрата палива дизеля 4ЧН12/14 на ДП помітно збільшується. Використання ВПЕ дозволяє досягти збереження рівня питомої витрати палива при такій

зміні кута випередження впорскування палива. Отже, доцільним є зменшення кута випередження впорскування палива дизеля на ВПЕ, оскільки при збереженні економічних показників двигуна це дає змогу значно зменшити жорсткість робочого циклу

та рівень викидів шкідливих речовин з ВГ дизеля.

Вплив ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів форсунки на показники дизеля

На однакових режимах роботи циклова подача ВПЕ має бути збільшена у порівнянні з ДП, оскільки ВПЕ має помітно меншу питому теплоту згоряння, ніж ДП. Це може бути досягнуто збільшенням тривалості процесу впорскування палива. Збільшення тривалості процесу впорскування є небажаним, оскільки призведе до збільшення частки палива, що згоряє на такті розширення занадто далеко від ВМТ. Це в свою чергу, має призвести до погіршення якості процесу згоряння, екологічних показників та зниження індикаторного ККД дизеля.

Для компенсації збільшення тривалості процесу впорскування палива треба підвищити швидкість паливоподачі шляхом збільшення ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів форсунки. У результаті збільшується кількість палива, що надходить за одиницю часу в циліндр дизеля і дещо знижується тиск впорскування палива. Зни-

ження тиску впорскування палива дозволить зменшити рівень втрат потужності на привід паливного насоса високого тиску, але призведе до збільшення середнього розміру крапель палива в циліндрі.

Збільшення розміру крапель палива в циліндрі має зменшити інтенсивність тепловиділення в період спалахування палива, але водночас незначно збільшується утворення сажі. Мінімізація викидів сажі забезпечується явищем мікрровибуху крапель ВПЕ та каталітичною дією продуктів дисоціації води [1]. Зниження інтенсивності тепловиділення в період спалахування дозволить знизити рівень шуму та ударних навантажень на деталі дизеля шляхом зменшення жорсткості робочого процесу.

У ході комплексних експериментальних досліджень дизеля на ВПЕ використовувались два комплекти розпилювачів з ефективним прохідним перерізом розпилюючих отворів $0,25 \text{ мм}^2$ і $0,27 \text{ мм}^2$. Вплив ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів на тиск в циліндрі дизеля відображено на рисунку 5.

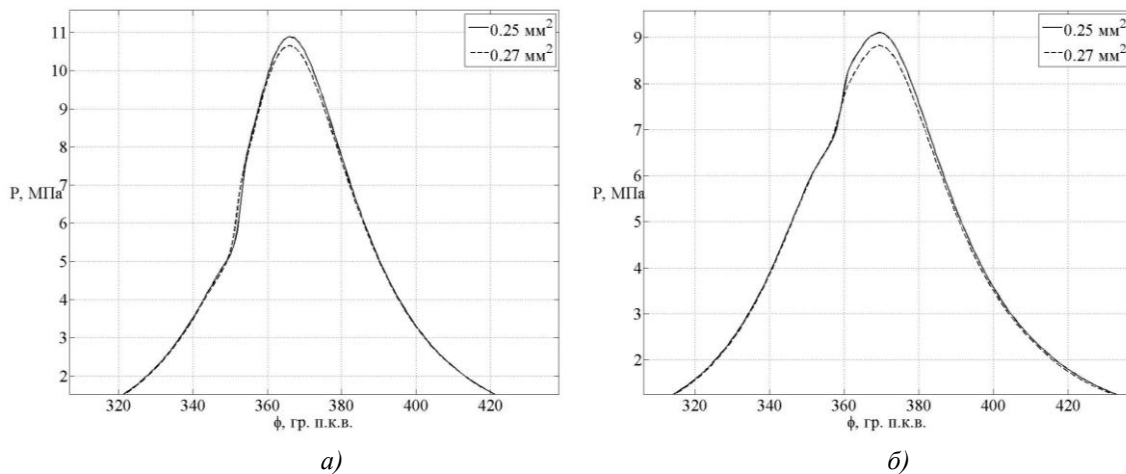


Рис. 5. Фрагмент індикаторної діаграми дизеля на ВПЕ при різних значеннях ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів:

а – 1500 хв^{-1} , 76 кВт ; б – 2000 хв^{-1} , 90 кВт

Видно, що збільшення ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів форсунок викликає незначне зниження максимального тиску в циліндрі дизеля. Зазначена зміна тиску в циліндрі не спричиняє помітного впливу на рівень механічних навантажень на деталі дизеля. Також не було зареєстровано значного впливу ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів форсунок на максимальну швидкість зміни тиску в циліндрі дизеля. Вплив ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів форсунки на диференційне тепловиділення в циліндрі відображено на рисунку 6.

Збільшення ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів форсунок спричиняє змен-

шення тепловиділення в період спалахування, але збільшення в період дифузійного згоряння. Такий вплив пояснюється помітним збільшенням крапель палива у початковий період паливоподачі, який характеризується відносно низьким тиском впорскування. Зазначене збільшення крапель спричиняє зменшення кількості палива, що випаровується за період затримки спалахування, а отже і зменшення інтенсивності згоряння в період спалахування. Розглянуті зміни процесу згоряння палива мають призвести до зниження жорсткості роботи дизеля, тобто до зниження рівня шуму та ударних навантажень на деталі дизеля.

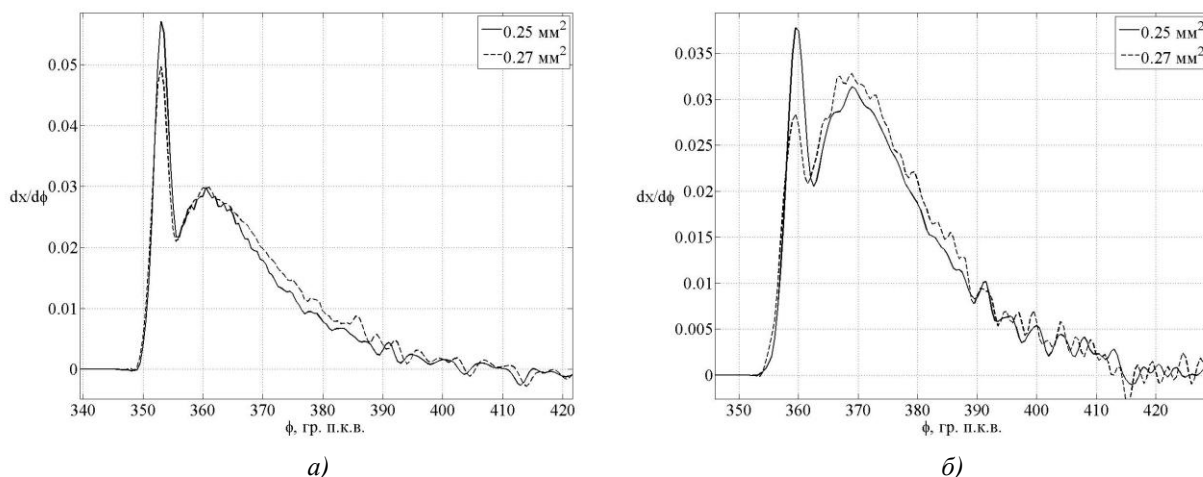


Рис. 6. Диференційне тепловиділення в циліндрі дизеля на ВПЕ при різних значеннях ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів:
а – 1500 хв⁻¹, 76 кВт; б – 2000 хв⁻¹, 90 кВт

Висновки

За результатами проведених досліджень видно, що характер впливу параметрів паливоподачі на показники дизеля на ВПЕ та ДП в цілому схожі. На вибір оптимальних параметрів дизеля на ВПЕ значно впливають характерні властивості цього виду палива та процесу його згоряння, що були детально розглянуті в роботі [1]. Період затримки спалаху та максимальна швидкість підвищення тиску в циліндрі дизеля на ВПЕ помітно більші, ніж на ДП. Таким чином, при використанні ВПЕ актуальними є питання компенсації збільшення жорсткості роботи дизеля, що дозволяє запобігти небажаного росту рівня шуму та ударних навантажень на деталі дизеля. Одними з основних шляхів зниження жорсткості робочого процесу дизеля є зменшення кута випередження впорскування палива та збільшення ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів форсунки.

Оцінюючи отримані результати експериментальних досліджень, можна розглядати рекомендацію по збільшенню ефективного прохідного перерізу розпилюючих отворів форсунок на 12–15% та зменшення кута випередження впорскування палива на 2–3 град. п.к.в. при використанні ВПЕ у транспортних дизелях.

В деяких випадках доцільним є зміна тільки кута випередження впорскування палива, оскільки цей більш простий і доступний захід не потребує матеріальних затрат і заміни деталей чи вузлів дизеля. Проте, комплексна зміна обох вказаних параметрів системи паливоподачі дає змогу підвищити ефективність використання ВПЕ шляхом оптимізації робочого процесу з урахуванням вимог до конкретного двигуна.

Список літератури:

1. Марченко А.П. Особливості процесу згоряння в дизелі при роботі на водопаливній емульсії / А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, А.О. Прохоренко, А.В. Савченко, О.О. Осетров, Д.В. Мешков // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – № 1. С. 3-10.
2. Кудряш А.П. Экологическое совершенствование дизелей путем использования водотопливных эмульсий / А.П. Кудряш, П.Я. Перерва, В.Н. Киреева, А.А. Потапенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2004. – № 2. С. 6-9.
3. Imazu H. Physical properties and combustion characteristics of emulsion fuels of water/diesel fuel and water/diesel fuel/vegetable oil prepared by ultrasonication / H. Imazu, Y. Kojima // Journal of the Japan Petroleum Institute – 2013. – № 56 (1). – С. 52-57.
4. Yahaya Khan, M. Current trends in water-in-diesel emulsion as a fuel / Yahaya Khan, M.; Abdul Karim, Z.; Hagos, F. Y.; Aziz, A. R. A.; Tan, I. M. // The Scientific World Journal – 2014. – С. 1-15.
5. Arokiasamy Remigious P. K. An experimental investigation into chosen parameters of diesel-water emulsion on combustion processes / P. K. Arokiasamy Remigious, A. Kandasamy, P. Selvi Rajaram // Journal of Chemistry – 2013. – С. 1-6.
6. Dantas Neto A. A. Alternative fuels composed by blends of nonionic surfactant with diesel and water: engine performance and emissions / A. A. Dantas Neto, M. R. Fernandes, E. L. Barros Neto, T. N. Castro Dantas, M. C. P. A. Moura // Brazilian Journal of Chemical Engineering. – 2011. – № 3. С. 521-531.
7. Dubey M. Impact of emulsified water/diesel mixture on engine performance and environment / M. Dubey, V. Saxena // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2016. – № 9. С. 461-466.

Bibliography (transliterated):

1. Marchenko, A.P., Parsadanov, I.V., Prohorenko, A.O., Savchenko, A.V., Osetrov, O.O., Meshkov, D.V. (2016), "Features combustion process in diesel engines when working at water-fuel emulsion" ["Osoblyvosti protsesu z-horyannya v dyzeli pry roboti na vodopalyvnyy emul'siyi", Dvyhateli vnutrenneho s-horannya], № 1, pp. 3-10. DOI: 10.20998/0419-8719.2016.1.01.
2. Kudryash, A.P., Pererova, P.Ya., Kyreeva, V.N., Potapenko, A.A. (2004), "Ecological improvement of diesel engines by using water-fuel emulsions" ["Ehkologicheskoe-sovershenstvovanie-dizelej-putem-ispolzovaniya-vodotoplivnyh-ehmulsij", J № 2, pp. 6-9.
3. Imazu, H., Kojima, Y. (2013), "Physical

properties and combustion characteristics of emulsion fuels of water/diesel fuel and water/diesel fuel/vegetable oil prepared by ultrasonication", *Journal of the Japan Petroleum Institute*, № 56 (1), – pp. 52-57. DOI: 10.1627/jpi.56.52. 4. Yahaya Khan, M.; Abdul Karim, Z.; Hagos, F. Y.; Aziz, A. R. A.; Tan, I. M., (2014), "Current trends in water-in-diesel emulsion as a fuel", *The Scientific World Journal*, pp. 1-15. DOI: 10.1155/2014/527472. 5. Arokiasamy Remigious, P. K., Kandasamy, A., Selvi Rajaram, P., (2013), "An experimental investigation into chosen parameters of diesel-water emulsion on combustion processes",

Journal of Chemistry, pp. 1-6. DOI: 10.1155/2013/764514. 6. Dantas Neto, A. A., Fernandes, M. R., Barros Neto, E. L., Castro Dantas, T. N., Moura, M. C. P. A., (2011), "Alternative fuels composed by blends of nonionic surfactant with diesel and water: engine performance and emissions", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, № 3, pp. 521-531. DOI: 10.1590/S0104-66322011000300017. 7. Dubey, M., Saxena, V., (2016), "Impact of emulsified water/diesel mixture on engine performance and environment", *International Journal of Engineering Trends and Technology*, № 9, pp. 461-466. DOI: 10.9790/1684-12552934.

Надійшла до редакції 11.07.2017 р.

Марченко Андрей Петрович – доктор техн. наук, проф., проректор з наукової роботи Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua.

Парсаданов Ігор Володимирович – доктор техн. наук, професор, головний науковий співробітник кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua.

Савченко Анатолій Вікторович – аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: Savchenko.sci@gmail.com.

Карягін Ігор Миколайович – науковий співробітник кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: karyagin@kpi.kharkov.ua.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ НА ИНДИКАТОРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ

А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, А.В. Савченко, И.Н. Карягин

В статье представлена методика экспериментального исследования особенностей работы дизеля на водотопливной эмульсии (ВТЭ). Приведены результаты оценки влияния параметров системы топливоподачи на показатели дизеля. В качестве параметров, которые варьировались, выбраны угол опережения впрыска топлива и эффективное проходное сечение распылительных отверстий форсунки. Основное внимание уделено влиянию указанных параметров на процесс сгорания в дизеле. В ходе исследования проведено сравнение полученных зависимостей при работе дизеля на ВТЭ и на дизельном топливе в одинаковых условиях, определен характер и степень влияния выбранных параметров на показатели дизеля. Сделан вывод о возможности комплексного улучшения показателей дизеля на ВТЭ путем выбора рациональных параметров системы топливоподачи.

INFLUENCE OF FUEL SYSTEM PARAMETERS ON INDICATORS OF DIESEL WHILE WORKING ON A WATER-FUEL EMULSION

A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov, A.V. Savchenko, I.M. Karyagin

The article presents experimental study technique of diesel engine operation peculiarities on water-fuel emulsion (VFE). The results of the estimation of the influence of parameters of fuel system delivery on indicators of diesel engine has been given. As an example of varied parameters the advance angle fuel injection and the effective cross-section of the spray injector nozzles has been selected. The main attention has been given to influence of these parameters on the combustion process in diesel. The investigation compares dependences obtained during the diesel engine operation on VFE and diesel fuel under the same conditions, the nature and influence degree of the selected parameters on the diesel performance were determined. The conclusion about complex improvement of possibilities of the diesel engine performance at the VFE by choosing rational fuel supply system parameters has been given.