

УДК 621.43.057.3

**A. В. САВЧЕНКО****ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ДИЗЕЛІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ ЕКО-ЕФЕКТИВНОГО ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА**

У статті розглянуті питання досліджень робочого процесу дизеля з встановленням оптимальної точки початку згоряння палива. Наведено аналіз підходів з підвищення еко-ефективності використання палива в двигунах. Розроблено загальний алгоритм обробки даних експериментального дослідження робочого процесу дизеля. Впроваджено метод визначення моменту початку згоряння палива, що враховує характерні особливості датчиків тиску та має підвищену точність і надійність. Запропоновано при обробці даних дослідження визначати ступінь кореляції отриманих даних відповідним інтегральним показником дизеля. Використання розробленого алгоритму експериментальних досліджень дизеля дозволяє детально проаналізувати процес згоряння палива та встановити оптимальні параметри його роботи для комплексного покращення еко-ефективності.

**Ключові слова:** дизель, еко-ефективне згоряння, оксиди азоту, енергія активації, диференційне тепловиділення, механічні навантаження.

В статье рассмотрены вопросы исследований рабочего процесса дизеля с установлением оптимальной точки начала сгорания топлива. Приведен анализ подходов по повышению эко-эффективности использования топлива в двигателях. Разработан общий алгоритм обработки данных экспериментального исследования рабочего процесса дизеля. Использован метод определения момента начала сгорания топлива, который учитывает характерные особенности датчиков давления и имеет повышенную точность и надежность. Предложено при обработке данных исследования определять степень корреляции полученных данных соответствующим интегральным показателем дизеля. Использование разработанного алгоритма экспериментальных исследований дизеля позволяет детально проанализировать процесс сгорания топлива и установить оптимальные параметры его работы для комплексного улучшения эко-эффективности.

**Ключевые слова:** дизель, эко-эффективное сгорание, оксиды азота, энергия активации, дифференциальное тепловыделение, механические нагрузки.

The article deals with the issues of research workflow diesel engine with an optimal combustion start point. Approaches analyze of fuel use eco-efficiency increase in engines is given. A general algorithm for processing experimental research data on the diesel workflow has been developed. Implemented determining combustion start method that takes into account the pressure sensors characteristics and has high accuracy and reliability. Determine the degree of data correlation corresponding diesel integral indicator at study data processing. Using the algorithm experimental research allows detailed diesel combustion process analysis and set optimal parameters of it work for comprehensive eco-efficiency improvement.

**Key words:** diesel, eco-efficient combustion, nitrogen oxides, activation energy, differential heat release, mechanical loads.

**Вступ.** Одним з ефективних заходів, що дозволяє досягти виконання вимог екологічного обмеження викидів забруднюючих речовин при роботі дизельних двигунів, є регулювання параметрів паливopoдaчi, контролювання параметрів повітря на впуску в двигун, характеристик температурного режиму згоряння і тривалості процесу. З цього приводу перспективним для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) є зменшення максимальної температури робочого циклу, тривалості перебування реагуючих речовин в зоні реакції з метою зниження рівня викидів оксидів азоту при застосуванні альтернативних палив. Для встановлення точок більш повного використання потенціалу альтернативних видів палив необхідно провести поглиблений аналіз процесу згоряння в дизелі з розробкою моделі робочого процесу щодо досягнення максимально можливої швидкості реакції при умові збереження механічних навантажень на деталі дизеля в допустимих межах ресурсу двигуна. Науково-практична значимість моделі визначається можливостями встановлення умов процесу згоряння, при яких забезпечується зниження концентрації оксидів азоту  $\text{NO}_x$  і загального рівня токсичності відпрацьованих газів двигуна [1, 2].

**Мета та задачі.** Метою роботи є дослідження фізико-механічних процесів в ДВЗ і формування інформаційно-алгоритмічної підтримки розробки моделі еко-ефективного згоряння палива в дизелі. Для

розв'язання основної задачі дослідження поставлені та вирішені такі питання:

1) визначення точки початку еко-ефективного згоряння палива в циліндрі дизеля відповідно до особливостей змін тиску;

2) аналіз отриманих закономірностей впливу змін тиску та температури у передреакційний період на особливості перебігу етапів згоряння палива та робочого процесу в цілому;

3) розробка інформаційно-алгоритмічної підтримки поглибленого аналізу результатів дослідження еко-ефективного процесу згоряння в дизелі, визначення перспективних видів палива та умов комплексного покращення роботи дизеля.

**Розв'язання завдання дослідження.** Важливою складовою ефективного перебігу робочого процесу двигуна є момент початку згоряння. Для встановлення умов еко-ефективного згоряння палива в дизелі необхідним є розробка моделі процесу та алгоритму ідентифікації початку спалаху палива, аналізу поведінки змін тиску у циліндрі, визначення теоретично-математичних засобів обробки результатів експериментального дослідження роботи дизеля на різних видах палива.

Характерною особливістю робочого процесу в ДВЗ є постійна зміна тиску в циліндрі з надзвичайно високою швидкістю. Вагомими факторами, що спричиняють зазначену зміну тиску в циліндрі є зміна

адпоршневого об'єму внаслідок руху поршня і підведення теплоти до робочого тіла в результаті згоряння палива. Запропоновано спосіб визначення впливу кожного з факторів на зміни тиску в циліндрі дизеля для встановлення з високою точністю моменту початку згоряння.

Для реєстрації тиску в циліндрі застосовується п'єзокварцевий датчик тиску, який дозволяє більш детально дослідити змінний параметр. Характерною особливістю такого датчика тиску є наявність термодинамічної похибки, яка може бути розрахована з високою точністю за методикою, що розроблена на кафедрі ДВЗ НТУ «ХП» [3]. У ході обробки результатів експериментальних досліджень проводиться корегування значень тиску з урахуванням визначеної термодинамічної похибки. Таким чином отримується дійсна функція зміни тиску в циліндрі дизеля (рис. 1).

Точне розрахункове визначення дійсного моменту початку згоряння є важливим для всього подальшого перебігу робочого процесу дизеля. Запропонована методика дозволяє мінімізувати ймовірність помилкової ідентифікації початку

згоряння в точці з незначною похибкою вимірювання тиску. Зазначене підвищення надійності досягнуто за рахунок особливостей використаних розрахункових залежностей, зменшенням шагу розрахунку та перевіркою одразу декількох значень у зоні можливого згоряння.

Для фіксації початку процесу згоряння необхідним і достатнім є побудова індикаторної діаграми дизеля. За характерним підйомом тиску визначають початок процесу окиснення, який необхідно певним чином контролювати для досягнення максимальної ефективності використання палива, що може забезпечити інгибування утворення оксидів азоту при умові збереження механічних навантажень на деталі дизеля не вище рівня, що обумовлений вимогами до ресурсу та надійності двигуна. Оптимізація процесу згоряння при застосуванні альтернативних видів палива дозволяють досягти зменшення максимальної температури робочого процесу з відповідним скороченням тривалості процесу згоряння палива, що дає змогу знизити вміст  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах дизеля (див. рис. 1).

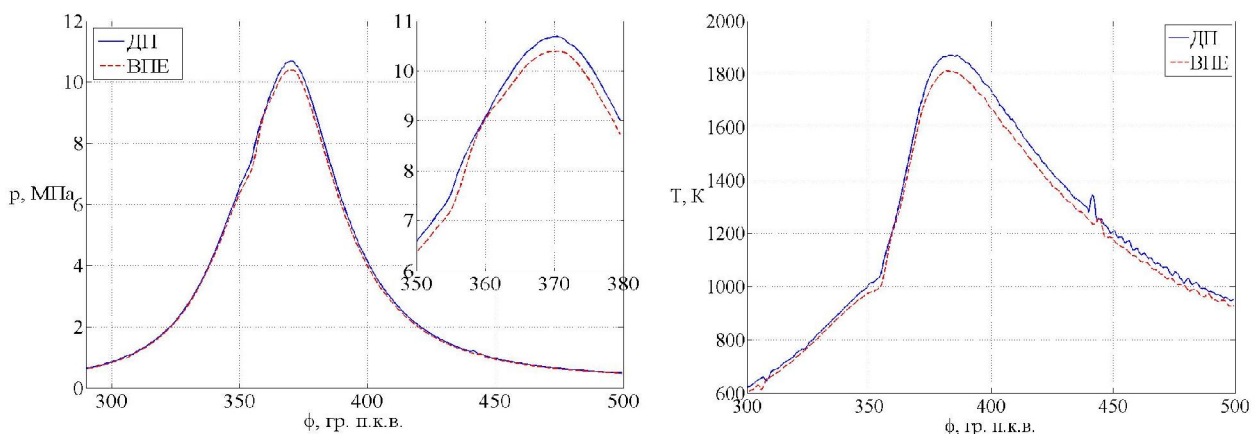


Рис. 1. Результати обробки експериментальних даних залежності тиску та температури від кута повороту колінчастого валу

За отриманими експериментальними даними встановлюється інформаційний масив теоретично розрахованого тиску адиабатичного стискання в циліндрі на основі виміряного тиску у попередній точці та відомого співвідношення об'ємів у зазначених точках. Контролюється різниця між теоретично розрахованим та вимірним значенням тиску в кожній розрахунковій точці. Послідовність аналізу поведінки тиску в предреакційний період здійснюється за такими встановленими експериментально-аналітичними залежностями:

1) розрахунок теоретичного тиску адиабатичного стискання:

$$P_{teor}(x) = \frac{P(x-1) \cdot V(x-1)^K}{V(x)^K}; \quad (1)$$

2) невідповідність зафіксованих вимірних величин тиску теоретичним розрахунковим значенням:

$$\Delta P_{teor}(x) = P_C(x) - P_{teor}(x) \quad (2)$$

де  $P_{teor}(x)$  – розрахунковий тиск у точці  $x$  за умови адиабатичного стискання;  $V(x)$  – надпоршневий об'єм в точці  $x$ ;  $K$  – показник адиабати,  $K = 1,4$  для повітря;  $P_C(x)$  – вимірний тиск у циліндрі в точці  $x$ .

Надійність запропонованих засобів встановлення моменту початку впорскування палива забезпечується визначенням на основі похідної функції тиску палива за кутом повороту колінчастого валу. В межах даної задачі прийнято, що максимум похідної тиску палива відповідає початку подачі палива в камеру згоряння і перебігу предреакційного періоду процесу ефективного окиснення (рис. 2).

Алгоритм ідентифікації моменту початку згоряння наведено на рисунку 2. Результати, що отримані за допомогою вказаного алгоритму обробки даних експериментального дослідження роботи дизеля, свідчать про високу надійність і точність методу: ряд визначених показників дизеля і властивостей згоряння

палива добре узгоджуються з відповідними інтегральними характеристиками.

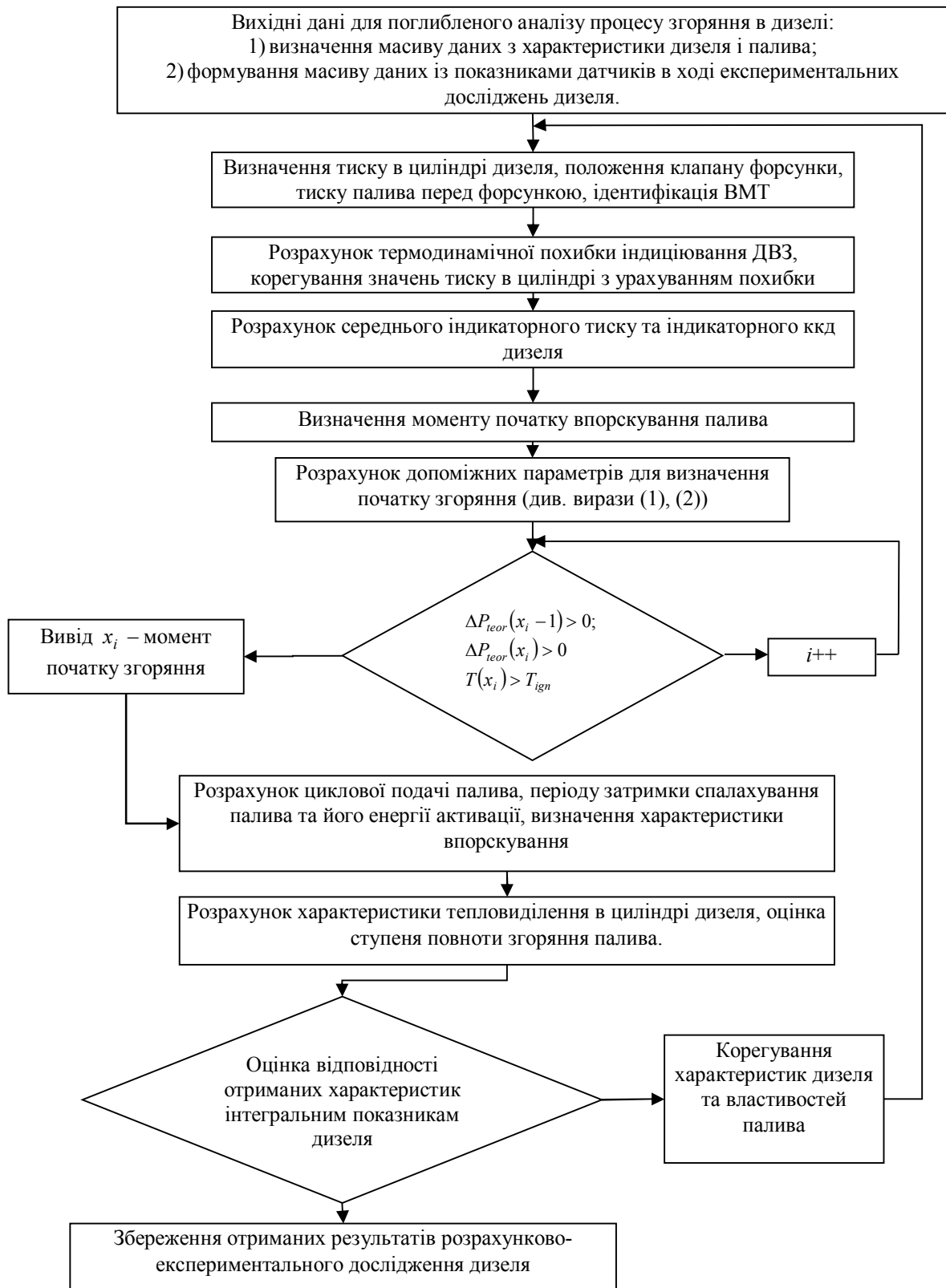


Рис. 2. Загальний алгоритм обробки даних експериментального дослідження роботи дизеля для підвищення ступеня еко-ефективності згоряння палива

Використання існуючого комплексу з контролю робочого процесу дизеля може призводити до помилкової ідентифікації моменту початку згоряння внаслідок незначної похибки вимірювального комплексу та особливостей поведінки тиску в циліндрі в момент впорскування палива. Запроваджені

нові засоби дослідження передреакційного періоду потребують для модельних розрахунків виключення випадків помилкової ідентифікації, що досягається у результаті реалізації запропонованого алгоритму обробки експериментальних даних. Вказане вище обумовлює необхідність розробки нової інформаційно-програмної підтримки досліджень з вивчення еко-ефективної роботи дизеля.

**Висновок.** У роботі наведено алгоритмічну підтримку програмного комплексу для розрахунково-експериментального дослідження роботи дизеля. Характерною особливістю наведеного підходу є висока точність і надійність, що підтверджується високим ступенем кореляції отриманих даних з відповідними інтегральними показниками, які були зареєстровані у ході досліджень.

За результатами роботи отримані такі основні науково-практичні висновки:

1) визначено можливості ідентифікації початку еко-ефективного згоряння в циліндрі дизеля на основі аналізу характерних особливостей змін тиску;

2) встановлено залежності впливу змін тиску та температури у передреакційний період на результати згоряння палива з мінімальним обсягом утворення NO<sub>x</sub>;

3) розроблено інформаційно-алгоритмічну підтримку поглибленого аналізу результатів дослідження еко-ефективного процесу згоряння в дизелі.

Завдяки реалізації розробленого підходу регулювання ступеня еко-ефективності згоряння палива досягається скорочення тривалості процесу та зниження максимальної температури циклу, що дозволяє значно скоротити викиди оксидів азоту з відпрацьованими газами двигуна. Ці заходи також мають сприяти зниженню ефективної питомої витрати палива. Однак, зазначені заходи можуть призвести до підвищення рівня механічних навантажень на деталі двигуна, що може погіршити

ресурсні показники. Отже, розв'язання задачі оптимізації процесу згоряння являє собою пошук компромісу окремо для кожної моделі двигуна. Подальший розвиток дослідження, таким чином, потребує детального аналізу процесу згоряння і робочого процесу дизеля в цілому на основі створення інформаційно-програмного комплексу з підтримкою прийняття рішень з еко-оптимального перебігу робочого процесу дизеля.

#### 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. *Марченко А.П.* Экспериментальное определение энергии активации водотопливной эмульсии / А.П. Марченко, А.А. Прохоренко, А.В. Савченко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – № 2. – С. 9–14.
3. *Мешков Д.В.* Метод расчёта термодинамической погрешности при индистрировании ДВС / Д.В. Мешков, А.В. Савченко, // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – № 1. – С. 22–26.

#### Bibliography (transliterated)

1. *Marchenko A.P.* (2016) OsoblivostI protsesu zgoryannya v dizeli pri roboti na vodopalivny emulsiyi / A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov, A.O. Prohorenko, A.V. Savchenko, O.O. Osetrov, D.V. Meshkov // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – № 1. – P. 3–10.
2. *Marchenko A.P.* (2016) Eksperimentalnoe opredelenie energii aktivatsii vodotoplivnoy emulsii / A.P. Marchenko, A.A. Prohorenko, A.V. Savchenko // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – № 2. – P. 9–14.
3. *Meshkov D.V.* (2014) Metod raschyota termodinamicheskoy pogreshnosti pri inditsirovani DVS / D.V. Meshkov, A.V. Savchenko // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – № 1. – P. 22–26.

Надійшла (received) 23.05.2017

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Дослідження фізико-механічних процесів в ДВЗ для розробки моделі еко-ефективного згоряння палива / А. В. Савченко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 18 (1240). – С. 53–56 – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2220-4784.

**Исследования физико-механических процессов в ДВС для разработки модели эко-эффективного сгорания топлива / А. В. Савченко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 18 (1240). – С. 53–56. Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2220-4784.

**Investigations of physical and mechanical processes in ICE for the development of a model for eco-efficient combustion of fuel / A. V. Savchenko** // Bulletin of NTU «KhPI». Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2017. № 18 (1240). – С. 53–56 Bibliogr.: 3. – ISSN 2220-4784.

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Савченко Анатолій Вікторович** – аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння НТУ «ХПІ»; тел. (096) 402-38-38; e-mail: savchenko.sci@gmail.com.

**Савченко Анатолій Вікторович** – аспірант кафедри двигателів внутрішнього згоряння НТУ «ХПІ»; тел. (096) 402-38-38; e-mail: savchenko.sci@gmail.com.

**Savchenko Anatoliy** – post-graduate student of internal combustion engines National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; tel. (096) 402-38-38; e-mail: savchenko.sci@gmail.com.