

О. О. Галушак

МЕТОДИКА УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ЖИВЛЕННЯ ДИЗЕЛЯ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ВІДСОТКОВОГО СКЛАДУ СУМІШІ ПАЛИВ

У статті наведено схему системи живлення дизеля Common Rail сумішшю дизельного та біодизельного палив з динамічним регулюванням її відсоткового складу, теоретичні основи організації та методику управління системою живлення дизеля під час переведення його на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив з динамічним регулюванням її відсоткового складу.

Ключові слова: біодизельне паливо, дизельне паливо, суміш палив, динамічне регулювання відсоткового складу, методика управління.

Вступ. Постановка проблеми

Масове використання двигунів внутрішнього згорання призвело до збільшення використання нафтових палив та стало причиною значного погіршення екологічного стану. Як відомо, викиди шкідливих речовин від двигунів внутрішнього згорання в середньому за рік становлять 39% від усього обсягу шкідливих викидів, а в містах часом досягає 70 – 90% [1]. Саме тому використання альтернативних палив у двигунах внутрішнього згорання є актуальним питанням уже тривалий час.

Фізико-хімічні властивості альтернативних палив під час використання у двигунах внутрішнього згорання зумовлюють деякі особливості перебігу робочих процесів у циліндрах двигуна, що впливає на техніко-економічні та екологічні показники двигунів. Як правило, використання альтернативних палив без коригування організації робочих процесів призводить до зменшення потужності двигуна та погіршення його економічних показників, тому науковці багато уваги приділяють розробці рекомендацій щодо адаптації системи живлення біодизельним паливом та вдосконалення алгоритмів організації робочих процесів двигунів внутрішнього згорання під час переведення їх на роботу на альтернативних паливах.

Для досягнення максимального ефекту від застосування біодизельного палива потрібно використовувати сучасні технології. Цю вимогу задовільняє система живлення дизеля з динамічним регулюванням відсоткового складу суміші залежно від його режиму роботи. Для більшості двигунів характерна робота під час зміни в широкому діапазоні теплового, навантажувального та швидкісного режимів роботи. Під час експлуатації найчастіше двигуни працюють на несталих режимах, до яких належать: пуск, прогрів, розгін, гальмування, збільшення та зменшення навантаження, зупинка двигуна. Ці режими є динамічно несиметричними [2], тобто процеси, що протікають за збільшення та зменшення навантаження на колінчастий вал двигуна, під час запуску та зупинки двигуна, відрізняються один від одного. Ефективний перебіг робочих процесів у циліндрах дизеля за різних відсоткових складів сумішей палив та режимів його роботи забезпечує відповідний алгоритм, тому це повинно бути враховано в методиці управління системою живлення дизеля під час переведення його на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив із динамічним регулюванням її відсоткового складу.

Використання біодизельного палива для дизелів є досить актуальним, тому цим питанням уже багато років активно займаються науковці. Так, у роботах [2 – 9] наведено результати дослідження впливу на техніко-економічні та екологічні показники дизеля використання чистого біодизельного палива та його суміші з дизельним. Особливу увагу варто приділити

роботі [10], у якій для покращення екологічних характеристик дизеля авторами було розроблено методику визначення характеристики регулювання оптимального співвідношення компонентів суміші палив залежно від режиму роботи дизеля. Використання розробленої методики забезпечує зниження викидів усіх нормованих токсичних компонентів відпрацьованих газів. Так, викиди оксидів азоту NO_x зменшуються на 9%, оксиду вуглецю CO – на 13,5%, вуглеводнів C_mH_n – на 36% порівняно з роботою двигуна на дизельному паливі.

Для реалізації розробленої методики автори запропонували схему пристрою для змішування дизельного і біодизельного палив у різних пропорціях залежно від режимів роботи дизеля. У пристрої регулювання складу суміші палива відбувається пропорційно тиску дизельного палива в паливопроводах високого тиску. Швидкодія такого пристрою складає близько двох суміжних циклів паливоподачі. Недоліком цієї методики є те, що відсотковий склад суміші палив залежить від частоти обертання колінчастого валу й не враховує ступінь навантаження двигуна.

Викладення основного матеріалу

Для ефективного використання біодизельного палива була вдосконалена система живлення дизеля (рис. 1), яка забезпечить зміну відсоткового складу суміші дизельного та біодизельного палив залежно від режиму роботи двигуна. Для вдосконаленої системи вносять зміни, які не погіршать роботу дизеля на дизельному паливі та забезпечать базову потужність і крутний момент дизеля. Зміна відсоткового складу суміші дизельного та біодизельного палив відбувається автоматично під час роботи двигуна. Пуск і зупинка дизеля відбувається на дизельному паливі, тому виникає необхідність змінити підходи до управління системою живлення дизеля під час переведення його на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив із динамічним регулюванням її відсоткового складу.

На рис. 1 наведено такі позначення: 1 – паливний бак для дизельного палива; 2 – фільтр грубої очистки дизельного палива; 3 – насос низького тиску дизельного палива; 4 – фільтр тонкої очистки дизельного палива; 6 – паливний насос високого тиску (ПНВТ); 7 – форсунка; 8 – електронний блок керування (ЕБК); 9 – важіль подачі палива; 11 – датчик частоти обертання колінчастого вала двигуна; 12 – датчик температури охолоджувальної рідини; 25 – паливний акумулятор високого тиску. Під час удосконалення системи живлення дизеля було додано низку елементів. Додатково встановлено паливний бак для біодизельного палива 13 із підігрівачем 22, фільтри грубої 14 та тонкої очистки 16, паливний насос низького тиску 15, змішувач палив 5, додатковий бак 17 із підігрівачем 22 та датчиком рівня палива 23, насос низького тиску з додаткового баку 18, електромагнітні клапани 19, 20, зворотні – 21, 24 та перепускний клапани 10.

Для запобігання змішування суміші палив із чистими паливами були змінені трубопроводи, які забезпечують подачу невикористаного палива з форсунок та ПНВТ в систему після змішувача палив перед ПНВТ. Змішувач палив управляється ЕБК та забезпечує регулювання відсоткового складу суміші палив у процесі роботи дизеля. Під час цього система живлення дизеля з динамічним регулюванням відсоткового складу суміші палив забезпечує можливість роботи дизеля на дизельному, біодизельному паливах та їх сумішах усіх відсоткових складів. Ефективність роботи дизеля на дизельному паливі не змінюється після вдосконалення системи живлення.

Організація управління системою живлення дизеля під час переведення його на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив із динамічним регулюванням її відсоткового складу повинна:

- технічні показники максимально наблизити до базових і покращити екологічні показники;

- забезпечити надійний запуск;
- узгодити циклову подачу та відсотковий склад суміші палива від моменту навантаження;
- забезпечити роботу дизеля за низьких температур навколишнього середовища;
- забезпечити мінімальну інертність роботи системи;
- забезпечити тривалу експлуатацію.

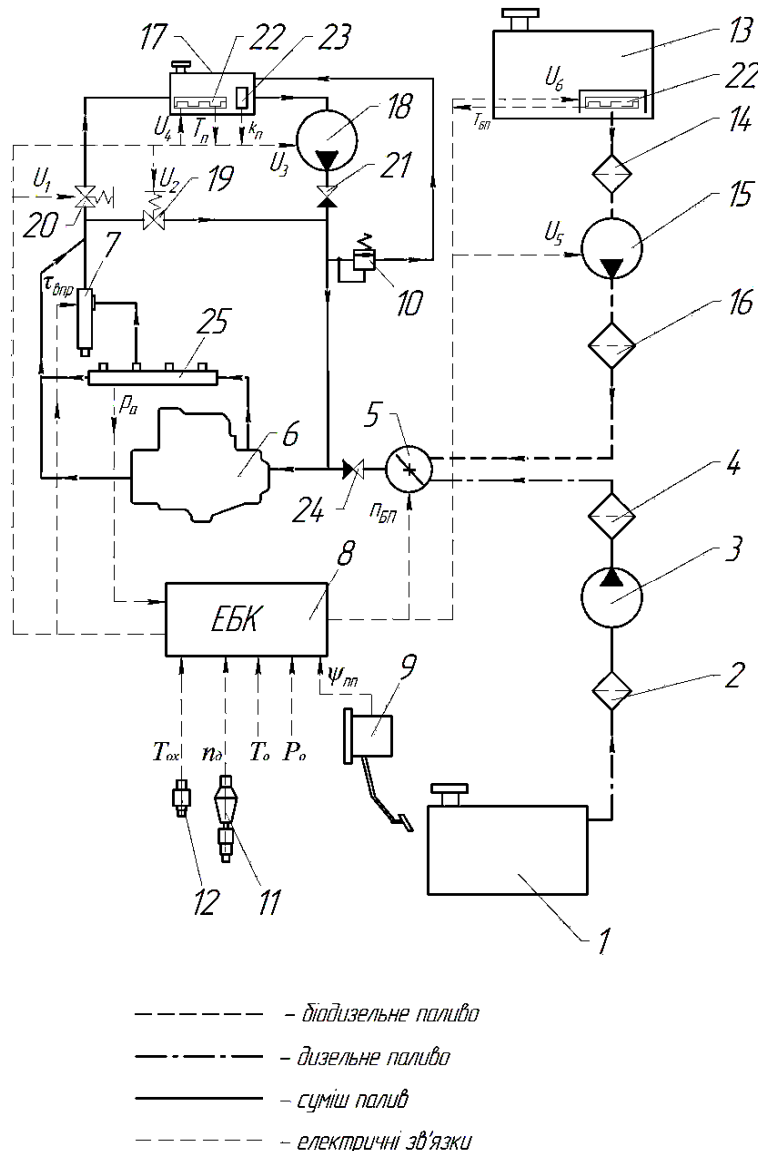


Рис. 1. Схема системи живлення дизеля Common Rail сумішшю дизельного та біодизельного палив із динамічним регулюванням її відсоткового складу

Особливістю управління системою живлення дизеля під час переведення його на роботу на суміші з динамічним регулюванням її відсоткового складу є необхідність в управлінні змішувачем та елементами системи відводу невикористаного палива. Дизельне та біодизельне палива подаються до змішувача з індивідуальних трубопроводів та насосів низького тиску. У змішувачі залежно від положення регулювального пристрою створюється суміш палив із відповідним відсотковим складом та подається в ПНВТ.

Основним параметром, яким потрібно управляти та якого немає в класичній системі живлення, є відсотковий склад суміші палив, визначення та управління яким є основною особливістю розробленої системи живлення. Залежно від відсоткового складу суміші палив

для забезпечення технічних показників двигуна виникає необхідність змінювати циклову подачу та кут випередження впорскування палива.

Під час роботи на дизельному паливі двигун та його система живлення працюють за алгоритмами, закладеними заводом-виробником, зміни в управлінні відбуваються, коли двигун переходить на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив.

У розробленій системі живлення додано лінію низького тиску подачі біодизельного палива, у якій відбувається керування насосом низького тиску та підігрівачем палива. Підігрівання біодизельного палива є обов'язковим під час його використання, особливо за низьких температур навколишнього середовища. Так, під час підігрівання біодизельного палива з 20°C до 50°C його в'язкість зменшується приблизно на 51% [11]. Показники густини, поверхневого натягу та ін. теж змінюються, але не так суттєво. На холодному двигуні погіршується процес випаровування та згорання палива та збільшується ймовірність потрапляння палива в картер двигуна, де воно розбавляє мастило. Уплив біодизельного палива на мастило більш негативний, ніж дизельного палива [12]. Властивості біодизельного палива зумовлюють більшу його здатність до коксування, що особливо проявляється під час поганого розпилування палива (на непідігрітому біодизельному паливі).

Підігрівач вмикається після запуску двигуна та підтримує потрібну температуру біодизельного палива. Насос низького тиску вмикається тільки тоді, коли температура біодизельного палива досягає значення допустимого для його використання та вимикається за умови зменшення температури біодизельного палива нижче допустимої або перед зупинкою роботи дизеля, коли система живлення наповнюється дизельним паливом.

Система живлення забезпечує подачу дизельного та біодизельного палив до змішувача незалежно одне від одного, проте тиски обох палив на вході до змішувача однакові, після чого вони змішуються, розглядаються як суміш палив із відповідним відсотковим складом.

Після вдосконалення системи відводу невикористаного палива виникає необхідність в її управлінні, оскільки до неї було додано низку нових компонентів.

Ця система відповідає за зливання невикористаного палива:

- у магістраль низького тиску між паливним насосом низького тиску та змішувачем;
- під час зупинки двигуна в додатковий бак.

Також виникає необхідність у підігріванні суміші палив у додатковому баку та його подачі в систему живлення. Суміш палив із додаткового баку використовується, коли двигун працює за робочої температури та паливо в баку підігріте до необхідної температури.

Новим параметром, яким потрібно управляти та якого немає в класичній системі живлення, є відсотковий склад суміші палив, визначення та управління яким є основною особливістю розробленої системи живлення. Також виникає необхідність змінювати показники циклової подачі та випередження впорскування палива за роботи на різних відсоткових складах суміші палив під час однакових режимів роботи дизеля.

Методика управління системою живлення дизеля під час переведення його на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив із динамічним регулюванням її відсоткового складу

Для забезпечення управління системою живлення дизеля під час переведення його на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив із динамічним регулюванням її відсоткового складу встановлюють додаткові датчики та виконавчі механізми (рис. 1).

Використання біодизельного палива та його суміші з дизельним зумовлює зміну техніко-економічних та екологічних показників дизеля. Нижча теплота згорання біодизельного палива менша, ніж дизельного, це означає, що за повного згорання біодизельного палива отримують менше енергії, ніж за згорання тієї ж кількості дизельного палива. Для збереження технічних характеристик дизеля потрібно збільшувати циклову подачу палива.

Це, у свою чергу, зумовлює збільшення годинної витрати палива. За збільшення циклової подачі палива збільшується тривалість його впорскування, випаровування та горіння, і, досягнувши критичної тривалості, паливо, впорскнуте в циліндр двигуна, не встигне повністю згоріти за відведений йому на це час. За великих циклових подач палива та високих частотах обертання колінчастого валу двигуна паливо не буде повністю згорати, що негативно позначиться на техніко-економічних та екологічних показниках дизеля.

Використання системи живлення з динамічним регулюванням відсоткового складу суміші палив на дизелях потребує особливих підходів до організації роботи системи живлення, для чого необхідно розробити методика її управління.

Регулювання відсоткового складу здійснюють із двох міркувань:

- забезпечення потрібного ефективного крутного моменту;
- забезпечення протікання робочих процесів.

Методика управління системою живлення дизеля під час його роботи на суміші дизельного та біодизельного палив із динамічним регулюванням її відсоткового складу реалізується так. Запуск та зупинка дизеля відбувається на дизельному паливі, для цього, перед тим, як його зупинити, суміш палив із системи живлення зливають у додатковий бак. Це зумовлює необхідність роботи дизеля ще деякий час після того, як оператор або водій виставить двигун у режим зупинки.

Процес запуску дизеля відбувається на дизельному паливі, оскільки на цей момент система живлення заповнена дизельним паливом. Це зумовлено тим, що висока в'язкість та великий поверхневий натяг біодизельного палива збільшують навантаження на елементи системи живлення, погіршують процес розпилювання та згорання палива, також виникає небезпека коксування сопел форсунок. Система живлення працює відповідно до алгоритму, закладеного заводом-виробником.

Далі перевіряють температуру охолоджувальної рідини та біодизельного палива: якщо вони нижчі допустимих, система живлення дизеля забезпечує його роботу на дизельному паливі за алгоритмом, закладеним заводом-виробником, та продовжують прогріватися біодизельне паливо та двигун. Якщо ж температура охолоджувальної рідини й біодизельного палива досягають допустимих значень, то система живлення дизеля може використовувати біодизельне паливо або його суміші з дизельним. У випадку, якщо в процесі експлуатації двигуна температура біодизельного палива опуститься нижче допустимої, двигун переходить на роботу на дизельному паливі.

Визначення відсоткового складу суміші палив проводять шляхом оцінювання значення кута повороту колінчастого валу, за якого відбувається закінчення горіння суміші палив. На рис. 2 наведено алгоритм визначення відсоткового складу суміші дизельного та біодизельного палив під час переведення дизеля на роботу на суміші палив з динамічним регулюванням її відсоткового складу.

Визначення відсоткового складу суміші палив $n_{БП}$ відбувається так [13]. Визначають нижчу теплоту згорання суміші палив H_u та її циклову подачу q_u . Циклова подача суміші палив – це така кількість палива, яка забезпечить кількість теплоти, яку отримують під час згорання дизельного палива за цього режиму роботи дизеля.

Далі визначається тривалість упорскування суміші палив $\varphi_{впр}$, яка залежить від характеристик форсунки (коефіцієнта витрати прохідних перетинів соплових отворів μ_c та площі поперечного перерізу соплових отворів f_c), тиску впорскування суміші палив у циліндр двигуна ΔP та густини суміші палив ρ_n .

Потім визначають період затримки запалення $\Delta\varphi$, який залежить від середньої швидкості поршня C_n , енергії активації палива E_a , універсальної газової сталої R , температури T_n та тиску газів у момент початку впорскування P_n , ступенів стиснення ε та показника політропи стиску n_1 . Знаючи період затримки запалення $\Delta\varphi$, корегують кут випередження

впорскування суміші палива $\theta_{впр}$.

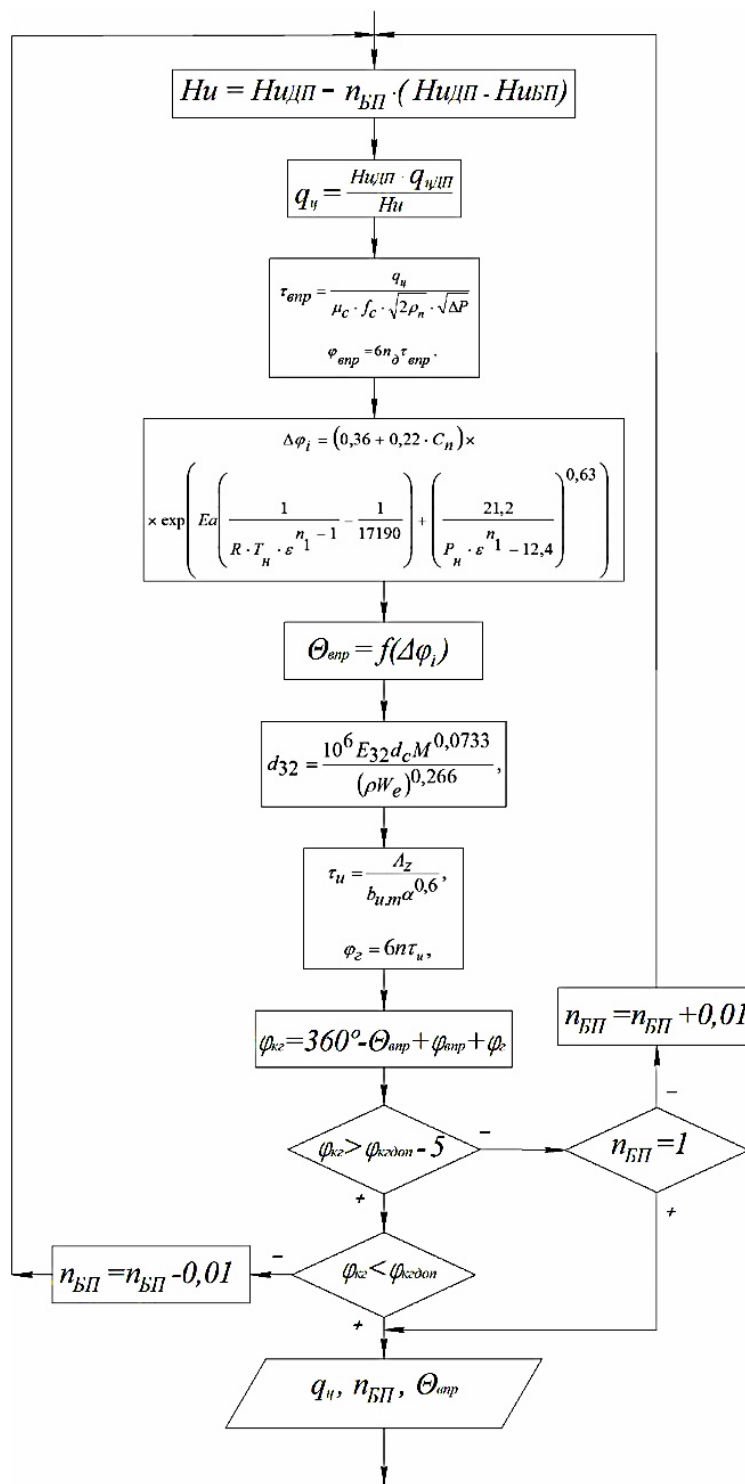


Рис. 2. Схема алгоритму визначення відсоткового складу суміші палив

Визначають середній діаметр крапель суміші палив упрорскуного в циліндр двигуна d_{32} , який залежить від конструкції форсунки (E_{32} – емпіричний коефіцієнт), діаметра соплового отвору форсунки d_c , критерію Вебера W_e , відношення щільності повітря до щільності палива ρ та критерію, що характеризує співвідношення сил поверхневого натягу M .

Тривалість випаровування та згоряння великих крапель залежить від константи часу випаровування великих крапель A_z , коефіцієнта надлишку повітря α та відносної теоретичної

константи випаровування палива $b_{u,m}$, яка, у свою чергу, залежить від середнього діаметра крапель суміші палив d_{32} .

Зважаючи на вищенаведене, визначають момент закінчення горіння суміші палив $\varphi_{ке}$. Якщо він менший, ніж допустиме значення $\varphi_{кедоп}$, перевіряють відсотковий склад суміші $n_{БП}$, якщо вміст біодизельного палива в суміші дорівнює 100 %, то отримують кінцеві для цього етапу циклову подачу та склад суміші, якщо ж вміст біодизельного палива в суміші менший за 100 %, то вміст біодизельного палива в суміші збільшується на 1%. Далі ще раз перераховують значення на цьому етапі та знов перевіряють умову відповідності моменту закінчення горіння суміші палив допустимим значенням, і так доти, доки умова не буде виконана. Крок зміни вмісту біодизельного палива в 1 % достатній для забезпечення регулювання відсоткового складу суміші палив з потрібною точністю.

Якщо ж значення моменту закінчення горіння $\varphi_{ке}$ суміші палив більше за допустиме значення $\varphi_{кедоп}$, вміст біодизельного палива в суміші зменшується на 1%, далі знов перевіряють умову відповідності моменту закінчення горіння суміші палив допустимим значенням, і так доти, доки умова не буде виконана або вміст дизельного палива в суміші буде дорівнювати 100 %.

Під час зупинки двигуна для його подальшого легкого запуску систему живлення заповнюють дизельним паливом. Частина суміші палив із системи живлення подають у додатковий бак, а інша частина згорає в циліндрах дизеля під час робочого ходу. Систему живлення заповнюють дизельним паливом – і двигун зупиняється. Суміші палив із додаткового баку використовують насамперед під час роботи дизеля на суміші палив.

Висновок

Застосування методики управління системою живлення дизеля під час переведення його на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив із динамічним регулюванням її відсоткового складу дозволяє забезпечити роботу двигуна з базовими технічними показниками дизеля, значно покращивши його екологічні показники. У методиці управління системою живлення дизеля враховано особливості управління системою живлення дизеля на різних режимах роботи двигуна.

Основною особливістю методики є визначення відсоткового складу суміші дизельного та біодизельного палив залежно від режиму роботи дизеля та управління новими компонентами, які були додані в систему живлення дизеля під час переведення його на роботу на суміші палив з динамічним регулюванням її відсоткового складу. При цьому двопаливність двигуна зберігається, тобто в дизелі ефективно використовують дизельне та біодизельне палива і їх суміш. Під час роботи на дизельному паливі на всіх режимах роботи двигуна зберігаються його базові характеристики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище [Електронний ресурс] / П. І. Чуваєв // Вісник Національного транспортного університету. – 2013. – № 27. – С. 380 – 383. – Режим доступу до журн.: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vntu_2013_27_58.pdf.
2. Пинский Ф. И. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания (дизельными и бензиновыми). Учебное пособие / Ф. И. Пинский, Р. И. Давтяк, Б. Я. Черняк // М: «Легион-Автодата», 2002. – 136 с.
3. Jindal S. Effect of injection timing on combustion and performance of a direct injection diesel engine running on Jatropha methyl ester / S. Jindal // International journal of energy and environment. – 2011. – Volume 2, Issue 1. – P. 113 – 122.
4. Атамась А. І. Підвищення екологічних показників дизельного автомобіля під час використання біодизельного палива / А. І. Атамась, В. Ф. Шапко, С. В. Шапко // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2012. – Випуск 3/2012 (74). – С. 126 – 130.
5. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. [Електронний ресурс] / Наукові праці ВНТУ, 2015, № 3

Bozbas Kahraman // Published by Elsevier Ltd. – 2005. – P. 4, – Режим доступу до статті: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.9475&rep=rep1&type=pdf>.

6. Jinlin Xuea Effect of biodiesel on engine performances and emissions / Jinlin Xuea, Tony E. Grift, Alan C. Hansena // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. – №15 (2011). – P. 1098 – 1116.

7. Войтов В. А. Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів при застосуванні біодизеля / В. А. Войтов, М. С. Даценко, М. В. Карнаух // Техніка і технологія АПК. – 2009. – № 1. – С. 13 – 18.

8. Тарлаков Я. В. Эксплуатационные показатели дизельных электростанций лесного комплекса при работе на биотопливе : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» / Я. В. Тарлаков. – М, 2013. – 16 с.

9. Осетров О. О. Поліпшення техніко-економічних показників дизеля 4ЧН 12/14, що працює на біопаливах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.03 «Теплові двигуни» / О. О. Осетров. – Харків, 2015. – 20 с.

10. Ефанов А. А. Улучшение экологических характеристик дизеля регулированием состава смесового биотоплива : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / А. А. Ефанов. – М, 2008. – 18 с.

11. Poliakov A. P. Provision of required viscosity index for bipropellant fuel / A. P. Poliakov, O. O. Galushchak, D. O. Galushchak // New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, Tehnomus. Suceava, Romania. – 2013. – № 20. – P. 254 – 257.

12. Ron Kotrba Understanding the post-injection problem. / Ron Kotrba // – 2008, – Режим доступу до статті: <http://www.biodieselmagazine.com/articles/2290/understanding-the-post-injection-problem>.

13. Поляков А. П. Математична модель системи «Двигун – система живлення сумішшю дизельного та біодизельного палив» / А. П. Поляков, О. О. Галушчак // Міжвузівський збірник "НАУКОВІНОТАТКИ" Луцьк. – 2014. – Випуск № 45. – С. 438 – 443.

Галушчак Олександр Олександрович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: galushchak_o@meta.ua.

Вінницький національний технічний університет.