

УДК 621.436

А.П.Поляков, О.О.Галушак
Вінницький національний технічний університет
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ «ДВИГУН – СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ
СУМІШНЮ ДИЗЕЛЬНОГО ТА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВ»

В даній статті розглядається математична модель системи «двигун – система живлення сумішню дизельного та біодизельного палив». Наведена методика визначення раціонального відсоткового складу суміші за умови максимального використання біодизельного палива та забезпечення необхідних параметрів роботи двигуна.

Ключові слова: біодизельне паливо, дизельне паливо, суміш, динамічне корегування відсоткового складу, математична модель, система живлення.

Рис 1. Форм 16. Літ 13

А.П.Поляков, А.Галушак
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ «ДВИГАТЕЛЬ - СИСТЕМА ПИТАНИЯ
СМЕСЬЮ ДИЗЕЛЬНОГО И БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА»

В данной статье рассматривается математическая модель системы «двигатель - система питания смесью дизельного и биодизельного топлив». Приведена методика определения рационального процентного состава смеси при максимального использования биодизельного топлива и обеспечения необходимых параметров работы двигателя.

Ключевые слова: биодизельное топливо, дизельное топливо, смесь, динамическая корректировка процентного содержания, математическая модель, система питания.

A.Polyakov, O.Galushchak
MATHEMATICAL MODEL OF «ENGINE - POWER SUPPLY SYSTEM WITH A MIXTURE
OF DIESEL AND BIODIESEL»

Biodiesel has not gained widespread because it is more commonly used mixture with diesel fuel. However, mixtures with a low content of biodiesel cannot fully use the potential of biodiesel, but increased its content in the mixture manifests its negative aspects. Therefore, this article is devoted to the definition of rational percentage composition of the mixture depending on the operating mode of the engine.

This paper deals with a mathematical model of the system "Engine - power supply system with a mixture of diesel and biodiesel fuels." Power system provides a dynamic change in the percentage composition of biodiesel and diesel fuels.

This definition of rational percentage of the mixture of biodiesel and diesel fuel, provided the maximum use of biodiesel. The resulting mixture should provide equivalent characteristics and specifications when operating on diesel fuel. The criteria for evaluation were taken power and duration of injection and combustion of fuel mixture, that determine the content of biodiesel in the blend and cyclic fuel supply.

Dynamic management of percentage structure somewhat complicates the construction, but also provides an opportunity to make the most of the advantages of each of the fuels. The system is universal, as an alternative you can use other fuels. Knowing their chemical and physical properties, the mathematical model provide the necessary operating parameters of the engine power.

Keywords: biodiesel, diesel fuel, blend, dynamic correction percentage structure, the mathematical model of the system power.

Постановка проблеми

В часи тотальної залежності економік країн світу від енергетичних ресурсів Україна не повністю ними забезпечена, імпорт енергоносіїв складає 43 % від загальних потреб. Величина щорічного видобутку вуглеводнів за останні роки в середньому становила 4 млн тон нафти з газовим конденсатом і 18 млрд м³ природного газу, що дорівнює відповідно 10 і 20% споживаних країною. Одним з найбільших споживачів рідких нафтових палив та забрудників навколишнього середовища є автомобільний транспорт. Великий попит на нафтові палива спричиняє ріст цін на паливо, які майже щодня б'ють світові рекорди. З метою зниження витрат нафтових палив проводиться багато досліджень одне з цих напрямків є дослідження альтернативних палив. Тому основним завданням сучасності є пошук альтернативних відновлюваних видів палива, які б могли частково, а в подальшому повністю, замінити традиційні палива викопного походження. На сьогоднішній день питання використання альтернативних палив є перспективним напрямом, це дозволяє не тільки зменшити експлуатаційні витрати ефект, а й зменшити кількість шкідливих викидів.

Україна має потужний потенціал у виробництві біопалив, зокрема біодизельного (БП), починаючи від вирощування сировини - закінчуючи кінцевим продуктом (біодизельним паливом). Сировиною для виробництва біодизельного палива можуть бути різні рослинні олії, в умовах держави доступними є ріпакова та відпрацьована соняшникова.

©А.П.Поляков, О.О.Галушак

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використання БП для дизелів розглядається вже багато років, є досить багато напрацювань в цьому напрямку. Вчені в роботах [1-9] розглядали вплив на техніко-економічні та екологічні показники дизеля чистого БП та його суміші з дизельним паливом (ДП). Але більшість досліджень проводились при використанні сумішей з постійним відсотковим складом суміші БП та ДП.

При використанні сумішей з малим відсотковим вмістом БП не повністю реалізує всі переваги біодизельного палива при використанні сумішей з великим відсотковим вмістом БП проявляються його негативні сторони. Тому доцільно використовувати системи живлення зі змінним відсотковим складом суміші палив в залежності від навантаження на двигун.

Дана стаття присвячується розробці математичної моделі системи «двигун – система живлення сумішшю дизельного та біодизельного палив» з динамічним керуванням відсоткового складу суміші ДП та БП.

Основні результати дослідження

На теперішній момент широко застосовується проведення наукових досліджень не на реальних об'єктах, а на математичних моделях, якими ці об'єкти описуються із заданою вірогідністю і точністю [10]. А натурні експерименти на об'єктах проводяться для отримання вихідних даних, які використовуються в математичних моделях та для підтвердження адекватності математичних моделей. А далі досліджується математична модель. Один і той же об'єкт можна описати різними математичними моделями в залежності від цілей і завдань дослідження.

Математичне моделювання дозволяє проводити дослідження необмежену кількість раз за різних вхідних даних, при цьому відпадає потреба в натурних експериментальних дослідженнях, що дає можливість економити значні кошти, тому математичне моделювання набуло широкого розповсюдження.

У Вінницькому національному технічному університеті на кафедрі «Автомобілі та транспортний менеджмент» проводяться наукові дослідження, щодо використання суміші ДП та БП для дизеля, при цьому розробляється система зміни відсоткового складу суміші палив в залежності від режимів роботи дизеля. Тому виникає потреба в дослідженнях впливу на техніко-економічні та екологічні показники використання суміші ДП та БП на дизелі з урахуванням сумішоутворення та горіння на перехідних режимах при збереженні потрібних технічних показників. Для проведення такого дослідження розроблена математична модель. Для моделі прийнято назву «Двигун – система живлення сумішшю дизельного та біодизельного палив» (ДСЖС). Під «система живлення сумішшю...» розуміється система живлення сумішшю ДП та БП з динамічним керуванням відсоткового складу, тобто при зміні моменту навантаження на дизель, змінюється відсотковий склад суміші палив.

На рисунку 1 зображено структурну схему системи живлення двигуна сумішшю дизельного та біодизельного палив з динамічним керуванням відсоткового складу. За основу було взято акумуляторну систему живлення "Common Rail" [11]. Схема складається з дизеля та системи живлення сумішшю дизельного та біодизельного палив, до якої в свою чергу входять два паливних бака, два фільтра грубої очистки (ФГО), два паливних насоси низького тиску (ПННТ), два фільтра тонкої очистки (ФТО) для дизельного та біодизельного палив відповідно та підігрівач біодизельного палива, змішувач, паливний насос високого тиску (ПНВТ), акумулятор палива, форсунки, три електромагнітні клапани та бачок для зворотного палива. Обробляє всі дані електронний блок керування (ЕБК). Змішувач включає в себе регулятор відсоткового складу ДП та БП та змішувач цих палив.

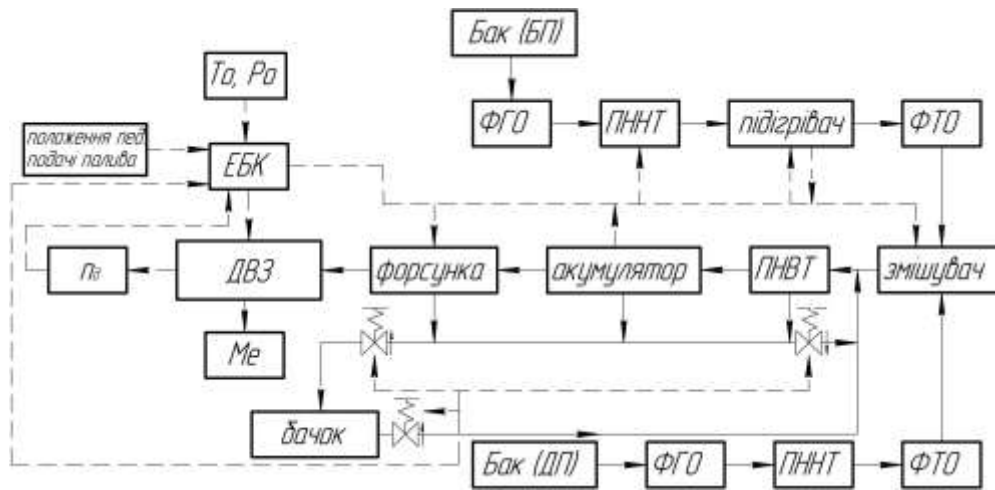


Рис. 1. Функціональна схема системи ДСЖС

Система працює наступним чином: двигун запускається на дизельному паливі і продовжує працювати на ньому поки двигун, а саме його охолоджувальна рідина, не прогріється до робочої температури. Після цього вступає в роботу змішувач, який враховуючи інертність системи при зміні відсоткового вмісту палива, забезпечує раціональний відсотковий склад суміші. Система зворотної подачі невикористаного палива модернізується і замість того, щоб зливати невикористане паливо в бак, воно потрапляє назад в систему живлення після змішувача, перед паливним насосом високого тиску. Це запобігає змішуванню чистих палив з робочими сумішами. Перед тим, як зупинити двигун система живлення зливає приготовлену суміш палив у бачок для зворотного палива та наповнює чистим дизельним паливом всю систему, що забезпечить легкий пуск двигуна навіть за низьких температур. Підігрівач забезпечує підвищення температури біодизельного палива до необхідної, чим наближає його фізичні властивості до властивостей дизельного палива, за нормальних умов. Необхідна температура визначається при врахуванні температури навколишнього середовища.

До системи входять 3 підсистеми першого рівня:

а) силова установка, яка складається з дизеля та системи живлення сумішшю ДП та БП до якої свою чергу додано ще один паливний бак, фільтр грубої очистки, паливний насос низького тиску, підігрівач, фільтр тонкої очистки та змішувач, бачок для зворотного палива;

б) електронний блок керування, який складається самого блоку керування датчиків та виконавчих механізмів;

в) навколишнє середовище, представлене температурою, тиском та густиною повітря.

Система ДСЖС - це складна система в математичну модель якої входять ряд підсистем, кожна з яких може бути описана своєю математичною моделлю. Всі ці моделі об'єднані в одну загальну модель ДСЖС.

У математичній моделі враховані такі особливості системи живлення дизеля сумішшю БП і ДП:

а) дизель може працювати як звичайний дизель на ДП так і на суміші ДП і БП;

б) в процесі прогрівання двигуна він працює на ДП;

в) при максимальній потужності двигун працює на ДП;

г) при зупинці роботи двигуна робоча суміш зливається в бачок для зворотного палива, а система живлення наповнюється ДП.;

д) два види палива змішуються в змішувачі, який знаходиться безпосередньо перед ПНВТ.

е) при роботі на суміші дизель працює одночасно на двох видах палив, що знаходяться в одному агрегатному стані. У цих палив різна нижча теплота згорання. Причому співвідношення між кількостями БП і ДП по швидкісній характеристиці змінюється в широких межах.

В математичній моделі прийняті наступні припущення:

а) при роботі дизель максимально використовує БП;

б) паливо, що надходить в систему, не стискається і не містить нерозчиненого в ньому повітря;

в) перемішування палив у змішувачі ідеальне;

г) вирівнювання температури палив в суміші після змішування відбувається миттєво;

д) в циліндрі відбувається повне згорання палива;

є) впорскування палива в циліндри дизеля безінерційне.

При роботі дизеля на його колінчастий вал діє момент навантаження. Ефективний крутний момент має врівноважити момент навантаження, тому можна записати:

$$M_e = M_n. \quad (1)$$

Годинна витрата палива:

$$G_n = N_e g_e. \quad (2)$$

Питома ефективна витрата палива:

$$g_e = \frac{3600}{H_u \eta_e}. \quad (3)$$

Ефективна потужність

$$N_e = \frac{\pi \cdot n_d \cdot M_e}{3 \cdot 10^4}. \quad (4)$$

Знаючи ефективний крутний момент та оберти двигуна можна визначити циклову подачу дизельного палива, для цього визначимо:

$$g_{цДП} = \frac{30 \cdot \tau \cdot G_{цДП}}{3,6 \cdot i \cdot n_d}, \quad (5)$$

де $g_{цДП}$ - циклова подача палива кг/цикл; i - число циліндрів двигуна; τ - показник тактності двигуна, G_n - годинна витрата палива.

Визначивши циклову подачу ДП, розраховується кількість тепла, що отримується від її згорання:

$$Q = H_{цДП} \cdot q_{цДП}. \quad (6)$$

Дизель працює одночасно на двох паливах. Кількість теплоти, що міститься в суміші двох палив, дорівнює сумі кількостей теплоти, що міститься в кожному з них. Знаючи співвідношення між кількостями палив можна розрахувати теплоту згорання суміші.

На підставі цього в математичній моделі для зручності розрахунків визначається нижча теплота згорання суміші:

$$H_u = n_{ДП} \cdot H_{цДП} + n_{БП} \cdot H_{цБП} = H_{цДП} - n_{БП} \cdot (H_{цДП} - H_{цБП}), \quad (7)$$

де $H_{цДП}$ - нижча теплота згорання ДП, $H_{цБП}$ - нижча теплота згорання БП, $n_{ДП}$, $n_{БП}$ - частка ДП та БП в суміші, відповідно.

Знаючи вміст БП в суміші (для початку $n_{БП}$ приймається рівним одиниці, тобто чисте біодизельне паливо) визначається циклова подача суміші:

$$q_u = \frac{H_{\text{вп}} \cdot q_{\text{вп}}}{H_u} \quad (8)$$

Наступним етапом відбувається перевірка, чи встигне така кількість палива впорскнутись та згоріти, для цього потрібно виконати наведені нижче розрахунки. Визначення тривалості впорскування та горіння, град. ПКВ:

$$\varphi_z = \varphi_{\text{впр}} - \Delta\varphi_i + \varphi_z, \quad (9)$$

де. $\varphi_{\text{впр}}$ - тривалість впорскування, $\Delta\varphi_i$ - період затримки запалення, φ_z - тривалість горіння суміші палив.

Залежність тривалості впорскування від циклової подачі представляється у вигляді, с. та в град. ПКВ [12]:

$$\tau_{\text{впр}} = \frac{q_u}{\mu_c \cdot f_c \cdot \sqrt{2\rho_n} \cdot \sqrt{\Delta P}} \quad (10)$$

$$\varphi_{\text{впр}} = 6n_{\text{д}} \tau_{\text{впр}}$$

де μ_c - коефіцієнт витрати прохідних перетинів соплових отворів, f_c - площа поперечного перерізу соплових отворів; ΔP - різниця між середнім тиском впорскування і тиском навколишнього середовища; ρ_n - густина палива.

В процесі роботи двигуна для суміші визначається період затримки запалення в секундах та в градусах кута повороту колінчастого валу:

$$\Delta\varphi_i = (0,36 + 0,22 \cdot C_n) \cdot \exp \left(Ea \left(\frac{1}{R \cdot T_n \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}} - \frac{1}{17190} \right) + \left(\frac{21,2}{P_n \cdot \varepsilon^{n_1 - 12,4}} \right)^{0,63} \right) \quad (11)$$

де C_n – середня швидкість поршня, м/с; E_a - енергія активації палива, кДж/моль; $R = 8,31$ – газова стала для повітря, Дж/кг·К; T_n – температура газів в момент початку впорскування, К; ε - ступінь стиснення; n_1 – показник політропи стиску; P_n – тиск газів в момент початку впорскування, МПа.

Визначення енергії активації палива:

$$E_A = \frac{618840}{C + 25}, \quad (12)$$

де C – цетанове число палива [13]

Якщо тривалість впорскування та горіння суміші палив перевищує допустиму величину, в математичній моделі прийнято, що вміст БП в суміші зменшується на 1%, далі знов перевіряється умова відповідності тривалості впорскування та горіння суміші палив допустимим значенням і так до тих пір поки умова не буде виконуватись. Якщо ж тривалість впорскування та горіння суміші палив менше допустимої величини, вміст БП в суміші збільшується на 1%, далі знов перевіряється умова відповідності тривалості впорскування та горіння суміші палив допустимим значенням і так до тих пір поки умова не буде виконуватись.

Для порівняння паливної економічності двигунів, що працюють на суміші палив та на чистому ДП запропоновано переводити витрату палив в теплові одиниці. Для цього значення витрат палив множиться на нижчу теплоту згорання палив.

Часова витрата $Q_{БП}$ теплоти, що подається в двигун разом з біодизельним паливом визначається, кДж/год:

$$Q_{БП} = H_{убП} \cdot m_{БП}, \quad (13)$$

де $H_{убП}$ - нижча теплота згорання одного кг. БП; $m_{БП}$ - масова годинна витрата БП, кг/год

Приведена (еквівалентна) масова годинна витрата $G_{БП}$ БП, кг/год:

$$G_{БП} = Q_{БП} / H_{цДП}. \quad (14)$$

Приведена циклова подача $q_{БП}$, БП, кг/цикл:

$$g_{цп} = \frac{G_{БП} \cdot \tau}{120 \cdot i \cdot n_d}, \quad (15)$$

де n_d - частота обертання колінчастого валу дизеля, хв⁻¹; i - число циліндрів дизеля; τ - тактність дизеля.

Сумарна циклова подача приведена до ДП $q_{сцп}$, кг/цикл:

$$q_{сцп} = q_{цп} + q_{цДП} \quad (16)$$

Порівнявши сумарну циклову подачу приведену до ДП та циклову подачу ДП за ідентичних режимів роботи оцінюється паливна економічність дизеля.

Проведені дослідження показали, що при збільшенні циклової подачі БП для забезпечення тієї ж кількості теплоти, що забезпечує ДП повітря в циліндрі буде достатньо для повного згорання БП. Це пояснюється тим, що в молекулярній структурі БП присутня більша кількість кисню ніж в ДП. Ця кількість кисню повністю компенсує збільшення циклової подачі.

Висновки. В даній статті наведена математична модель системи «двигун – система живлення сумішшю дизельного та біодизельного палив». Наведена методика визначення раціонального відсоткового складу суміші за умови максимального використання біодизельного палива та забезпечення необхідних параметрів роботи двигуна.

В подальшому планується проводити дослідження техніко-економічних та екологічних показників при зміні відсоткового складу суміші ДП та БП при зміні моменту навантаження.

1. 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. Випуск 3/2012 (74). С. 126-130.
2. Звонов В.А. Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив / Звонов В.А., Козлов А.В., Теренченко А.С. - Российский химический журнал. – 2008. – Т. 11, № 6. – С. 147.
3. Jindal S. Effect of injection timing on combustion and performance of a direct injection diesel engine running on Jatropa methyl ester / S. Jindal – International journal of energy and environment/Volume 2, Issue 1, 2011 P. 113-122.
4. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. [електроний ресурс] / Vozbas Kahraman – Published by Elsevier Ltd. p.4, 2005. Режим доступу до журн.: http://aoatools.aua.gr/pilotec/files/bibliography/biodiesel_in_europe2005-3865689856/biodiesel_in_europe2005.pdf
5. Семенов В.Г. Використання біодизельного палива у двигунах сільськогосподарського призначення / В.Г. Семенов, А.І. Атамаєв – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 77. – С. 375–379.
6. Ефанов А.А. Разработка комплексной технологии получения смесового топлива с улучшенными свойствами для дизельных двигателей : автореф. дис. На соискание научной степени канд. техн. наук / А.А. Ефанов. – М., 2008. – 18 с.
7. Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. – Харьков: Новое слово, 2007. – 600 с.
8. Jinlin Xuea Effect of biodiesel on engine performances and emissions / Jinlin Xuea, Tony E. Grift, Alan C. Hansena - Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 1098–1116
9. Войтов В.А. Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів при застосуванні біодизеля / Войтов В.А., Даценко М.С., Карнаух М.В. – Техніка і технологія АПК. – 2009. – № 1. – С. 13–18.
10. Барабашук В.И. Планирование эксперимента в технике. / В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко - К.: Техніка, 1984. - 198 с.
11. Грехов Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков - М.: Легион-Автодата, 2004. - 344 с.
12. Астахов И.В. и др. Подача и распыливание топлива в дизелях. Издательство: Машиностроение Год: 1971, 359 с.
13. Bernard Challen Diesel Engine Reference Book Second Edition / Bernard Challen, Rodica Baranescu - Typeset by Replika Press Pvt. Ltd., 100% EOU Delhi 110 040, India, 1999. ISBN 075062176

Стаття надійшла до редакції 01.05.2014