

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

А.А. Долінський, докт. техн. наук, академік НАНУ, директор ІТТФ НАНУ

Л.М. Грабов, кандидат технічних наук, зав. лабораторією, провідний науковий співробітник,

О.І. Шматок, науковий співробітник.

Інститут технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАНУ)

Досліджено кінетику проходження процесу переетерифікації на експериментальному обладнанні з застосуванням роторно-пульсаційного апарата (РПА). Проведено порівняльний аналіз експериментальних даних проведення переетерифікації в ємнісному реакторі з перемішуючим пристроєм та на експериментальній установці з застосуванням РПА.

Kinetics of passing of process of reesterification on the experimental equipment with use rotor-puls apparatus (RPA) is investigated. The comparative analysis of experimental data of carrying out of reesterification in a vessel with the mixing device and on experimental installation with use RPA is carried out.

Ключові слова: переетерифікація, біодизель, біопаливо, рослинні олії, роторно-пульсаційний апарат.

В останнє десятиріччя в світі широко впроваджуються біологічні види палива для використання в двигунах внутрішнього згоряння, що викликано станом оточуючого середовища та прагненням скоротити шкідливі викиди в атмосферу шляхом зменшення споживання викопних палив. На сьогоднішній день найбільшого розповсюдження для використання на транспорті набули два види біологічних палив: біодизель та біоетанол, які використовуються як альтернатива дизельного палива та бензину.

Згідно Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива» [1]: біодизельне паливо (біодизель) – метилові та/або етилові етери вищих органічних кислот, отримані з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент. Переважно біодизель використовується в дизельних ДВС в якості біокомпоненту з вмістом у паливі 5...20 %. Основна задача, яка при цьому вирішується – заміна продуктів нафтопереробки на природні відновлювальні ресурси, зменшення викидів парникових газів та токсичних речовин в атмосферу.

Випробування біодизелю та його добавок до традиційного дизельного палива у США та Європі показали, що при його застосуванні знижується емісія в атмосферу вуглеводнів та оксиду вуглецю. Крім того, біодизель практично не містить сірки, що при його використанні у чистому вигляді забезпечує практично повну відсутність сірчаних газів у вихлопі двигунів.

Серед переваг біодизельного палива можна також виділити його хороші змащувальні властивості, що робить його практично незамінним в якості добавки до малосірчаних дизельних палив, які виготовляються згідно з новими екологічними стандартами «Євро 4» та «Євро 5».

Сировиною для отримання біодизельного палива переважно є ріпакова, соняшникова, соєва та інші види рослинних олій. Найбільш розповсюдженою сировиною, що використовується в Європі є ріпак, який у значній кількості застосовується у Німеччині, Франції, Швеції та інших країнах. В

Євросоюзі діють стандарти згідно з якими використання біодизелю є обов'язковим в якості добавки в кількості близько 5 % до нафтового дизельного палива.

Технологія виготовлення біодизельного палива з рослинних олій ґрунтується на реакції переетерифікації олій метиловим спиртом в присутності лужних або кислотних каталізаторів. Переважно використовують лужні каталізатори КОН або NaOH, оскільки в такому випадку реакція проходить значно швидше та характеризується вищим ступенем перетворення олії ніж при застосуванні кислот.

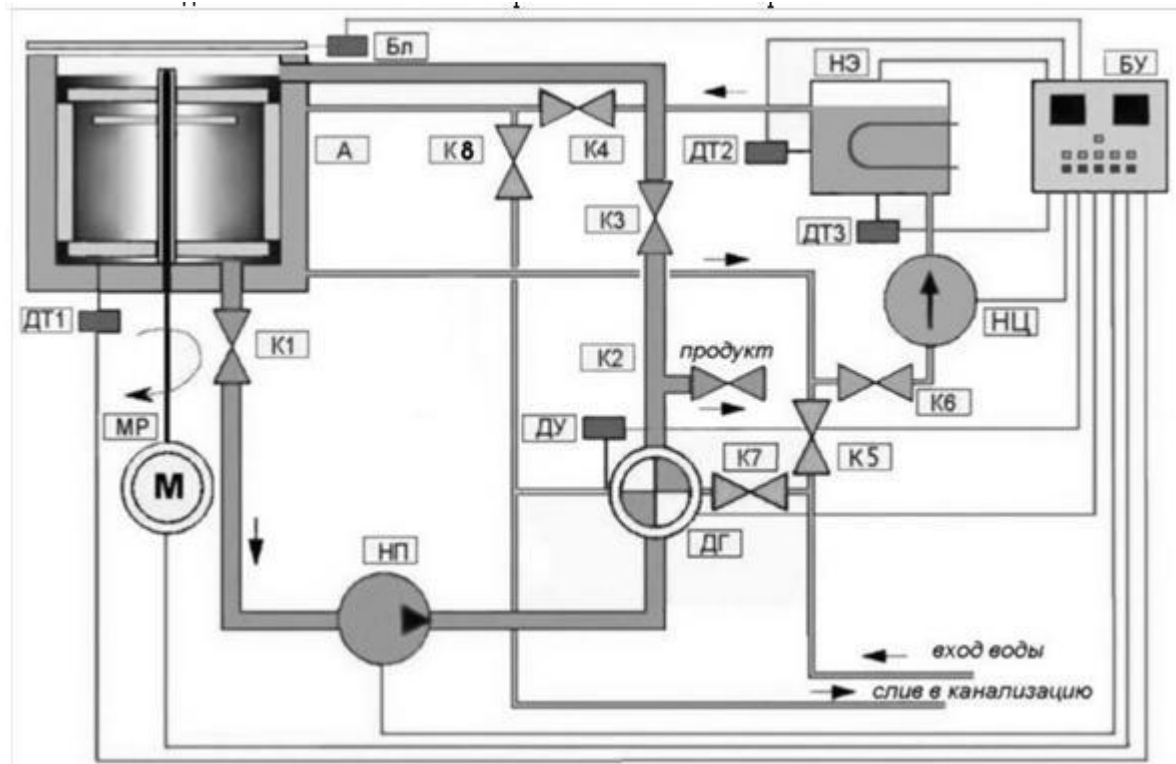
У випадку застосування лужних каталізаторів процес переетерифікації проводять при температурах 50...70 °С та тиску до 0,15 МПа [2, 3]. При цьому ступінь перетворення олій досягає 99%. Існуючі технології проведення переетерифікації реалізуються в ємнісному обладнанні періодичної дії. Тривалість одного циклу переетерифікації становить від 1 до 8 годин, причому в початковий період реакція протікатиме повільно внаслідок двофазної природи системи метанол-олія, тому необхідно проводити інтенсивне перемішування реагентів. В результаті реакції утворюється суміш метилового ефіру та гліцеролу, який містить 45 – 50% гліцерину, залишки метилового спирту, продукти омилення жирів та інші домішки. Суміші дають відстоятися. В результаті відстоювання суміш розділяється: гліцерол, як фракція з більшою густиною ($\rho=1261$ кг/м³), виділяється внизу, а метилові ефіри, як більш легкі ($\rho=860...890$ кг/м³), розміщуються над ним. З відстояної суміші метиловий ефір та гліцерол виділяється в окремі ємності.

Для швидкості і повноти переетерифікації метанол береться з надлишком, тому отриманий метиловий ефір містить до 1,5% метанолу, від якого біодизель необхідно очистити. Метанол з біодизеля видаляють шляхом випарювання з подальшою конденсацією. Так як при проходженні реакції переетерифікації каталізатор не вступає в саму реакцію, а тільки її прискорює – у виготовленому біодизелі він залишається повністю. Біодизель не звільнений від каталізатора викликає корозію деталей двигуна. Видаляють його, змішуючи продукт із підкисленою водою в результаті чого проходить нейтралізація каталізатора і він переходить в омилений залишок (соапсток). Омилений залишок видаляється. При цьому перевіряють рН. Кислотність повинна бути нейтральною – рН=7,0. Завершальним етапом є випарювання залишків води з отриманих метилових ефірів жирних кислот. Наявність води негативно впливає на роботу дизельного двигуна, сприяє утворенню вільних жирних кислот, що викликають корозію металевих деталей, призводить до розвитку мікроорганізмів в біодизелі.

В ІТТФ НАНУ проведені дослідження з визначення оптимальних тепломасообмінних параметрів проведення процесу переетерифікації за традиційною технологією з застосуванням ємнісного реактора, оснащеного перемішувачем, системою нагріву та термостабілізації [4]. Експериментально визначено, що оптимальна температура для проходження переетерифікації становить 50...60 °С. При таких температурних параметрах процес проходить повністю за достатньо короткий проміжок часу.

Для вивчення процесів отримання біодизельного палива з застосуванням принципу ДІВЕ, що реалізується в роторно-пульсаційному апараті створено експериментальний стенд,

представлений на рис. 1. Експериментальний стенд дозволяє вивчити вплив інтенсивної гідродинамічної обробки, яка відбувається в РПА, на характер та інтенсивність протікання тепломасообмінних процесів при виготовленні біодизельного палива на основі рослинних олій та спиртів.



А – ємність; Бл – блокування кришки реактора; БУ – шафа керування; ДГ – гомогенізатор-диспергатор (РПА); ДТ1 – датчик температури продукту; ДТ2 – датчик системи захисту від перегріву; ДТ3 – датчик температури води у водонагрівачі; ДУ – датчик наявності охолоджуючої рідини на гомогенізаторі-диспергаторі; К1 – кран виходу продукту з реактора; К2 – кран виходу готового продукту; К3 – кран подачі продукту з роторно-пульсаційного апарата в ємність; К4 – кран подачі гарячої води з водонагрівача; К5 – кран подачі води в апарат; К6 – кран подачі води з реактора у водонагрівач; К7 – кран подачі води на охолодження РПА; К8 – кран сливу води в каналізацію; МР – мотор-редуктор перемішуючого пристрою в ємності; НП – продуктовий насос; НЦ – водяний циркуляційний насос; НЭ – електричний водонагрівач

Рис. 1 – Принципова схема експериментального стенда для отримання біодизельного палива

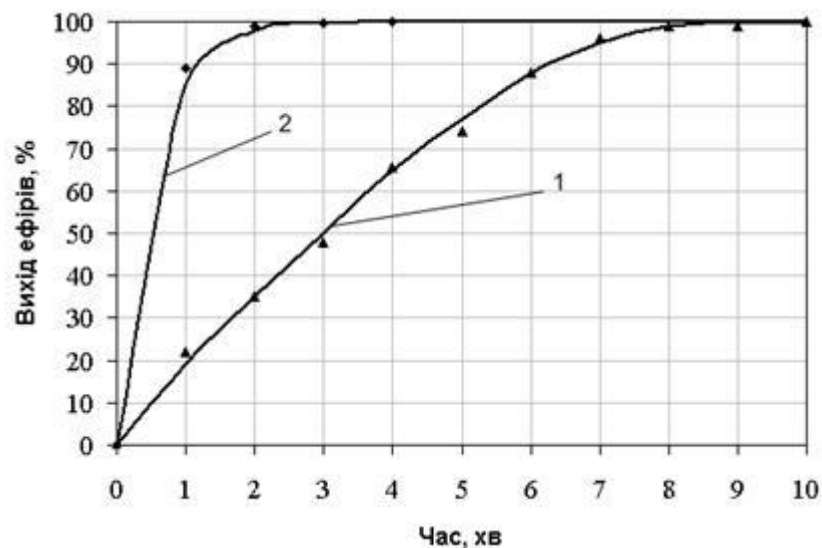
На стенді проведено експериментальні дослідження переетерифікації ріпакової олії метиловим спиртом з застосуванням лужного каталізатора КОН у кількості 1,2 % від маси олії та коефіцієнтом надлишку спирту $K=1,5$ для забезпечення повноти проходження переетерифікації. Коефіцієнт надлишку спирту K визначається, як співвідношення маси спирту, яка використовується в експерименті та маси спирту, теоретично необхідної для повного проходження переетерифікації:

$$K = \frac{m_{\phi}}{m_{\text{сп}}} / \frac{m}{m_{\text{сп}}},$$

де K – коефіцієнт надлишку спирту; $m_{\phi}/\text{сп}$ – маса спирта, що фактично використовується; $m/m_{\text{сп}}$ – теоретично розрахована маса спирту [4].

Проведення експерименту проводилось наступним чином в ємність А завантажувалась ріпакова олія та 80 % метилового спирту, передбаченого програмою експерименту. Температура суміші доводилась до 60 °С, після чого в ємність завантажували попередньо підготовлений спиртовий розчин каталізатора, який готувався з використанням 20 % спирту, передбаченого експериментом. Одразу після завантаження каталізатора вмикали циркуляцію продукту насосом НП через роторно-пульсаційний апарат ДГ. Температура проведення процесу утримувалась на рівні 60 °С. Відбір проб здійснювався з інтервалом в 1 хвилину.

Результати експерименту наведені на рис. 2 у порівнянні з експериментальними даними, які отримані при проведенні переетерифікації за традиційною технологією, при аналогічних тепломасообмінних параметрах, з використанням ємнісного реактора, обладнаного перемішувачем.



1 – переетерифікація в ємнісному реакторі; 2 – переетерифікація на стенді з використанням РПА

Рис. 2 – Залежність виходу метилових ефірів від часу проведення переетерифікації

Вихід ефірів оцінювався у відсотковому відношенні до розрахованого за матеріальним балансом значення [4]. Контроль виходу біодизелю здійснювався за масою виділених шарів ефірів та гліцеролової фракції у пробах, відібраних в процесі проведення експерименту.

Як видно з представлених графіків динаміки виходу ефірів, використання РПА дозволяє значною мірою інтенсифікувати масообмінні процеси та прискорити проходження процесу переетерифікації у порівнянні з традиційною технологією.

Інтенсифікація проходження тепломасообмінних процесів в РПА пояснюється створенням високої питомої потужності в об'ємі апарата, багатofакторному впливу на оброблюване середовище, який полягає в пульсаціях тиску та швидкості потоку, розвинутій турбулентності, кавітаційним процесам, високим зсувним напруженням між робочими елементами апарата. Всі ці фактори приводять до

інтенсифікації процесу переетерифікації та більш повного проходження фізико-хімічних перетворень.

На основі проведених експериментальних досліджень, в ІТТФ НАНУ розроблена технологія для отримання біодизельного палива методом переетерифікації рослинних олій спиртами з використанням роторно-пульсаційного апарата [5]. Принципова схема установки для здійснення технології наведена на рис. 3.

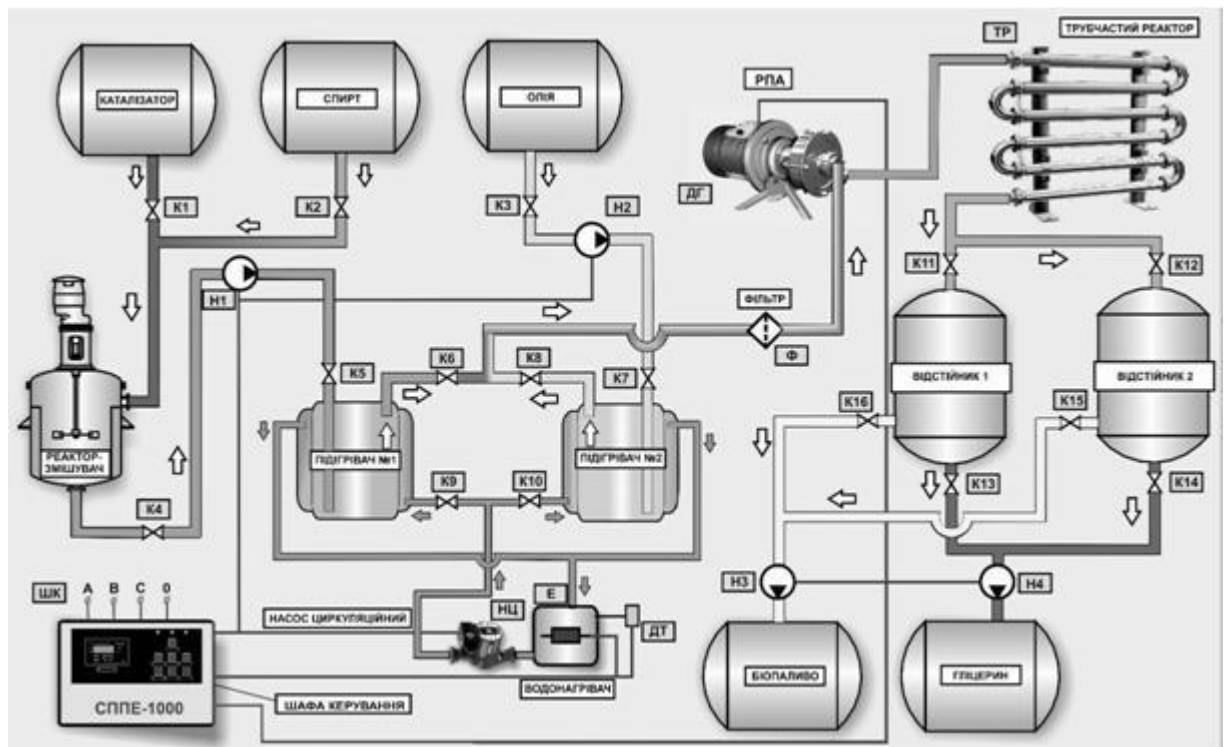


Рис. 3 – Принципова схема установки для виробництва біодизельного палива

Дана технологія дозволяє проводити процес переетерифікації в безперервному режимі, що вигідно відрізняє її від існуючих закордонних технологій періодичної дії та дозволяє значною мірою спростити процес виробництва та скоротити енергетичні затрати.

Висновки

1. Проведені дослідження довели можливість інтенсифікації тепломасообмінних процесів отримання біодизельного палива методом переетерифікації рослинних олій метиловим спиртом.
2. Розроблено технологію виготовлення біодизельного палива в безперервному режимі з використанням роторно-пульсаційного апарата.

Література:

1. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2009, N 40, ст.577
2. Грабов Л.Н. Производство альтернативного биодизельного топлива и перспективы его развития / Л.Н. Грабов, А.И. Шматок // Пром. теплотехника. – 2008. – Т. 30. – № 1. – с. 60–65.
3. Долінський А.А. Продукування енергоносіїв з відновлювальної рослинної сировини / А.А. Долінський, Л.М. Грабов, В.І. Мерщій, О.І. Шматок // Енергетика та електрифікація. – 2008. – № 9. – с. 44–50.
4. Долінський А. А. Теплофизические параметры и экспериментальное оборудование для получения жидких биотоплив из растительных масел и спиртов / А. А. Долінський, Л. М. Грабов, В. І. Мерщій, О. І. Шматок // Пром. теплотехника. – 2010. – Т. 32. – № 3. – с. 50–58.
5. Долінський А. А. Получение биодизельного топлива и моторных топливных смесей методом направленного дискретно-импульсного влияния / А. А. Долінський, Л. М. Грабов, О. І. Шматок // Пром. теплотехника. – 2011. – Т. 33. – № 8. – с. 7–11.

Автори:

Долінський А.А. докт. техн. наук, академік НАНУ, директор ІТТФ НАНУ.

Грабов Л.М. канд. техн. наук, пров. наук. співр.

Шматок О.І. наук. співр.