

**КАВИТАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ МЕТИЛОВИХ ЕФІРІВ ЖИРНИХ КИСЛОТ  
З ЖИРІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ**

**ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ**

Наведені кавітаційна технологія синтезу метилових ефірів жирних кислот з жирів рослинного походження, установка для її реалізації. Результати експериментальних досліджень зі зменшення необхідної кількості каталізатора. Експериментально підтверджено ефективність установки в порівнянні з існуючим аналогом.

**Вступ**

Кавітацію досліджують як негативне явище [1,2], а також як засіб інтенсифікації технологічних процесів, зокрема процесів хімічної технології [2–4]. У зв'язку з широким застосуванням кавітації в хімічній промисловості, актуальною задачею є розробка нових, більш ефективних кавітаторів. Одними з найперспективніших з цієї позиції є гідродинамічні кавітатори, зокрема кавітаційні сопла, які дозволяють здійснювати інтенсивне кавітаційне оброблення при малих енерговитратах і з високою продуктивністю. Раніше було розроблено кавітаційну установку [5] та кавітаційне сопло з камерою розширення [6], яке дозволяє в декілька разів збільшити інтенсивність кавітації без додаткових енергетичних витрат. Ці розробки запропоновано використати для інтенсифікації процесу одержання метилових ефірів жирних кислот (біодизельного палива) з жирів рослинного походження.

*Опис експериментальної установки*

Дослідження здійснювались на експериментальній струменевої кавітаційній установці (рис. 1).

Установка працює наступним чином. Рідина з буферної ємкості 1 всмоктується шестеренним насосом 2, з якого під тиском, що задається вентилем 3 та вимірюється манометром 4, подається через напірний трубопровід 5 до кавітаційного сопла 6. В кавітаційному соплі 6 рідина значно прискорюється і в ній починають зростати кавітаційні бульбашки. Після виходу з сопла кавітаційні бульбашки лопаються, генеруючи області надвисоких тисків, температур і швидкостей рідини, чим здійснюють інтенсифікуючу дію на протікання реакції переетерифікації.

Після виходу з сопла рідина певний проміжок часу знаходиться в буферній ємкості 1,

при цьому перемішуючись, після чого знову потрапляє до шестеренного насоса 2 через всмоктувальний патрубок. Таким чином здійснюється багатократне оброблення рідини.

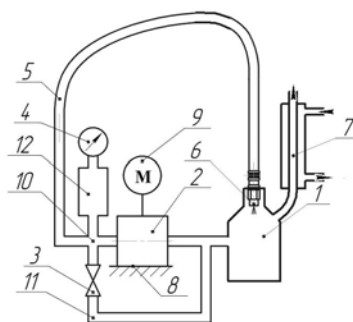


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної струменевої кавітаційної установки: 1 – буферна ємкість; 2 – шестеренний насос; 3 – вентиль; 4 – манометр; 5 – напірний трубопровід; 6 – кавітаційне сопло; 7 – холодильник-конденсатор; 8 – плита; 9 – двигун; 10 – розподільчий вузол; 11 – трубопровід скидання; 12 – компенсатор тиску

Механізм дії кавітації на процес переетерифікації в даній роботі не досліджувався, проте висунуто припущення, що інтенсифікація реакції відбувається наступним чином. Основний ефект забезпечують надвеликі градієнти швидкостей рідини, що виникають при лопанні кавітаційних бульбашок. У результаті цього рідина знає перемішування на мікроскопічному рівні, що дає можливість молекулам реагентів зблизитись для протікання реакції. Додатково тепло, яке генерується при кавітації, підвищує температуру рідини, що сприяє прискоренню реакції. Але цей процес значно повільніший.

*Об'єкти дослідження та методики дослідження*

При здійсненні досліджень використовували-

лась буферна ємкість об'ємом 1 л. Для виконання досліду в установку завантажувалась реакційна суміш у кількості 85 об.% від буферної ємкості. В якості джерела жирів використовували соняшникову олію. Синтез метилових ефірів жирних кислот виконували при мольному співвідношенні жир:метанол – 1:3. В якості каталізатора використовувався гідроксид калію в кількості 1 мас.% олії, додатково КОН вводили для нейтралізації вільних жирних кислот.

Під час оброблення через певні інтервали часу відбирались проби суміші, які в подальшому відстоювались для розділення фаз. У результаті відстоювання оброблена суміш розділялась на ефірну фазу (біодизельне паливо) та гліцеринову фазу (моно-, ди- та тригліцериди). Вихід реакції визначався за відношенням маси одержаного ефіру до маси ефіру, яка могла бути одержана при умові повного протікання реакції алкохолізу.

#### Викладення основного матеріалу

На першому етапі здійснено дослідження швидкості реакції переетерифікації і результати порівняно з аналогічними дослідженнями, здійсненими раніше іншими авторами.

Відомою є стаття [7], у якій наведені результати досліджень процесу одержання біодизельного палива з рослинної олії та метилового спирту за допомогою кавітаційного реактора (базова установка). В роботі [7] наведено дані про вихід реакції та температуру реакційної маси в залежності від часу, які було використано для порівняння. Використана в дослідженні кавітаційна установка повністю описана в [8].

Під час здійснення нашого дослідження використовувалось кавітаційне сопло з камерою розширення на базі сопла Вентурі [9] з діаметром вузької частини 2 мм (рис. 2). Швидкість рідини у вузькій частині сопла складала 50 м/с, тиск на вході в сопло складав 1,8 МПа.

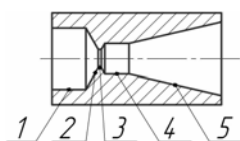


Рис. 2. Кавітаційне сопло з камерою розширення на базі сопла Вентурі: 1 – вхідна частина; 2 – перехідний конфузор; 3 – вузька частина; 4 – камера розширення; 5 – дифузор

Результати здійснених досліджень та їх порівняння з раніше відомими наведено на рис. 3.

З рис. 3 видно, що при використанні базової кавітаційної установки (крива 1) реакція протікає значно повільніше і потребує значно більших енерговитрат, ніж при використанні розробленої установки (крива 2). Вихід реакції 95% відсотків на базовій установці досягається при витратах енергії  $1,25 \cdot 10^8$  Дж/м<sup>3</sup>. При вико-

ристанні розробленої кавітаційної установки даний вихід реакції досягається при енерговитратах  $3,9 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup>, що більше ніж в тридцять разів менше, ніж на базовій установці.

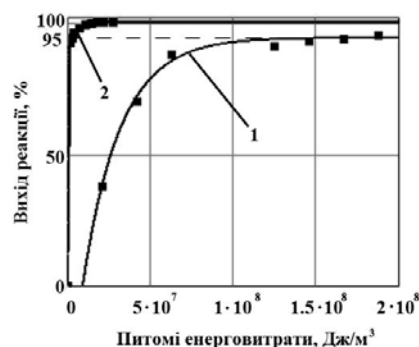


Рис. 3. Кінетичні криві реакції: 1 – результати досліджень на базовій установці; 2 – результати досліджень на розробленій установці

Як видно з рис. 3, при використанні запропонованої кавітаційної установки із зануреним соплом у сукупності з кавітаційним соплом з камерою розширення призводить до значного прискорення протікання реакції переетерифікації. Проте крім енергоємності процесу актуальним також є зменшення кількості каталізатора, що використовується при проведенні реакції. З цією метою виконано серії дослідів, в ході яких отримано кінетичні криві реакції при різному вмісті каталізатору. Результати досліджень наведені на рис. 4.

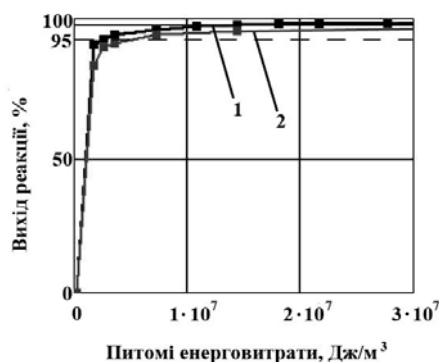


Рис. 4. Кінетичні криві реакції при вмісті каталізатора: 1 – 1% КОН; 2 – 0,22% КОН

З рис. 4 видно, що зменшення кількості каталізатора від 1% до 0,22% в цілому несуттєво впливає на кінетику протікання реакції. Проте при високих виходах реакції різниця значно зростає (таблиця).

З таблиці видно, що при виході реакції 90% енерговитрати мало збільшуються. В даному випадку зменшення кількості каталізатора може бути доцільним. При виході 95% і більше питомі енерговитрати значно зростають, що ро-

## Енергоємність протікання реакції

Вихід, %	90	95	99
Питомі енерговитрати, Дж/м <sup>3</sup> : 1% КОН	1,7·10 <sup>6</sup>	3,9·10 <sup>6</sup>	1,1·10 <sup>7</sup>
0,22% КОН	2,0·10 <sup>6</sup>	5,4·10 <sup>6</sup>	2,8·10 <sup>7</sup>
Збільшення питомих енерговитрат, разів	1,2	1,4	2,5

бить зменшення кількості каталізатора недоцільним.

Визначення оптимальної кількості каталізатора залежить від конкретних виробничих умов, зокрема: ціни енергоносіїв, вартості процесу вилучення каталізатора з реакційної суміші, ціни самого каталізатора та ін. У випадку, коли вартість процесу вилучення каталізатора є значною, слід використовувати мінімальну кількість каталізатора, збільшуючи цим енерговитрати на виконання реакції. У іншому випадку варто максимально прискорювати реакцію необхідною кількістю каталізатора.

**Висновки**

Здійснені дослідження свідчать, що кавітацію можливо застосовувати для інтенсифікації процесу синтезу метилових ефірів жирних кислот з жирів рослинного походження. У результаті здійснених досліджень виявлено, що використання розробленої кавітаційної установки в сукупності з соплом з камерою розширення зменшує енерговитрати на виконання реакції переетерифікації більше, ніж на три порядки. Також експериментально досліджено вплив зменшення кількості каталізатора на енергоємність виконання реакції і запропоновано оптимальні кількості каталізатора в залежності від виробничих умов. У сукупності здійснені дослідження можуть бути використані для промислової реалізації запропонованої технології.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Пирсол И. Кавитация. – М.: Мир, 1975. – 95 с.
2. Reynolds O. The causes of racing of the engines of screw steamers, investigated theoretically and by the experiment // Tr. Inst. Naval Arch. – 1873. – Vol.14. – № 1. – P.56-57.
3. Рождественский В.В. Кавитация. – Л.: Судостроение, 1977. – 247 с.
4. Смородов Е.А., Галиахметов Р.Н., Ильгамов М.А. Физика и химия кавитации. – М.: Наука, 2008. – 228 с.
5. Anisimov V.V., Ermakov P.P. Construction of experimental jet cavitation apparatus // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013: Материалы междунар. научно-практической конф. – Одесса: КУПРИЕНКО. – 2013. – Вып. 1. – Т.7. – С.18-23.
6. Анісімов В.В., Єрмаков П.П. Експериментальне дослідження кавітаційного сопла з камерою розширення // Наукові праці Одеської нац. академії харчових технологій. – 2013. – Вип.43. – Т.1. – С.97-102.
7. Мислюк Є.В., Мислюк О.О., Столяренко Г.С. Розробка реакторів кавітаційного типу для інтенсифікації процесів синтезу альтернативного палива // Вісник Чернігівського держ. техн. ун-т. – 2008. – № 2. – С.138-145.
8. Пат. 19495 Україна, МПК (2006) C10L 1/00, F24H 4/00, F25B 29/00. Установка для одержання біопалива для дизелів / Столяренко Г.С., Мислюк Є.В. – № u200607262; Заявл. 30.06.2006; Опубл. 15.12.2006. – Бюл. № 12. – 2006. – 4 с.
9. Пат. 102493 Україна, МПК (2013.01) B01F 5/00, B05B 1/02 (2006.01). Кавітаційне сопло / Анісімов В.В. – № а 2012 10012; Заявл. 20.08.2012; Опубл. 10.07.2013. – Бюл. № 13. – 2 с.

Надійшла до редакції 28.10.2013