

УДК 66.094.942

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.30

## ГЕТЕРОГЕННО-КАТАЛІТИЧНА ТРАНСЕСТЕРИФІКАЦІЯ ТРИОЛЕАТУ ГЛІЦЕРИНУ В ПОЛІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ

Ю. Р. МЕЛЬНИК\*, Р. О. СТАРЧЕВСЬКИЙ

Кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА  
\*email: yurii.r.melnyk@lpnu.ua

**АНОТАЦІЯ** Досліджено реакцію трансестерифікації (алкоголізу) триолеату гліцерину бутан-1-олом у присутності гетерогенного каталізатора – оксиду феруму (II). Показано, що застосування ультразвукових коливань при температурі понад 373K істотно підвищує конверсію триолеату гліцерину порівняно із здійсненням реакції за таких самих умов, але без ультразвуку. Показано, що здійснення реакції при надлишковому тиску або із барботуванням азоту через реакційну суміш нівелює ефект від застосування ультразвукових коливань. Також показано, що попередня обробка каталізатора – оксиду феруму (II) – ультразвуковими хвилями є не ефективною.

**Ключові слова:** соняшникова олія, алкоголіз; трансестерифікація; триолеат гліцерину; бутан-1-ол; оксид феруму (II).

## HETEROGENEOUS CATALYTIC TRANSESTERIFICATION OF GLYCEROL TRIOLEATE IN THE FIELD OF ULTRASONIC WAVES

YU. MELNYK, R. STARCHEVSKYI

Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

**ABSTRACT** The reaction transesterification of glycerol trioleate with butane-1-ol in the presence of a heterogeneous catalyst – ferric oxide (II) has been investigated. The effect of the previous ultrasonic treatment of catalyst and continuous ultrasound during transesterification reactions has been investigated. The using of ultrasonic vibrations in the temperature range 363–388K can increase the conversion of glycerol trioleate have been established. The application of ultrasonic vibrations at temperatures above 373K significantly increases the conversion of glycerol trioleate compared to the reaction under the same conditions but without ultrasound has been investigated. The application of ultrasonic vibrations at 383-388K can increase the conversion of glycerol trioleate from 59.2% to 69.6% and from 61.3% to 72.3% in accordance. The implementation reaction at excess pressure leads to a sharp decrease in conversion of glycerol trioleate compared to a process without ultrasound has been shown. The bubbling nitrogen through the reaction mixture eliminates the effect of the using of ultrasonic vibrations has been found. The conversion of glycerol trioleate while bubbling nitrogen in the field of ultrasonic waves is close to that which is achieved without the using of ultrasound. Pretreatment catalyst – ferric oxide (II) – ultrasonic waves are not effective has been established. The catalyst that has been treated with ultrasonic vibrations and kept 1–4 days, the act almost as a catalyst that not treated been of ultrasound, has been shown. Thus that the using of ultrasonic waves is an effective way to increase the activity of heterogeneous catalytic reactions transesterification has been established.

**Keywords:** sunflower oil; transesterification; butane-1-ol; glycerol trioleate; ferric oxide (II).

### Вступ

На сьогодні основні промислові способи трансестерифікації рослинних олій ґрунтуються на взаємодії триолеату гліцерину із одноатомними спиртами при температурі 60-70°C і атмосферному тиску в присутності гомогенних лужних каталізаторів [1].

Основними перевагами таких каталізаторів є їхня порівняно низька собівартість і висока продуктивність. Проте, присутність води у сировині може спричинити омилення естерів, а вільні жирні кислоти можуть реагувати з утворенням мила. Тому при застосуванні лужних каталізаторів необхідно використовувати осушену рослинну олію з вмістом вільних жирних кислот не більше ніж 0,5 мас. % та безводний спирт [2, 3]. Такі вимоги істотно обмежують застосування такої сировини, як відпрацьований кулінарний жир, який значно дешевший, але містить понад 2 мас. % вільних жирних кислот [4].

Недоліками гомогенних лужних каталізаторів є значні енергозатрати, складність очищення гліцерину, необхідність нейтралізації каталізатора та необхідність очищення стічних вод [5, 6].

Використання гетерогенних каталізаторів дозволяє усунути недоліки, характерні для гомогенних каталізаторів [7-9]. Застосування гетерогенних каталізаторів у реакції трансестерифікації має такі переваги: простота відділення каталізатора від продуктів реакції, можливість його багаторазового використання, відсутність продуктів омилення, простий процес відділення естерів від гліцерину, відсутня необхідність нейтралізації каталізатора, значно знижується кількість стічних вод, а потреба їх очищення зводиться до мінімуму.

Відомо, що як гетерогенні каталізатори реакції трансестерифікації сировини з високим вмістом жирних кислот можна застосовувати стеарат цинку/SiO<sub>2</sub>, MoO<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

MoO<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> та цинк етаноат/SiO<sub>2</sub>. Для вказаних катализаторів застосовували значний надлишок спирту (співвідношення спирт : олія – 18 : 1 (мол.)), температура реакції становила 197°C, а концентрація катализатора – 3 мас. % [10].

В роботі [11] досліджено ряд гетерогенних катализаторів трансестерифікації кокосової та пальмової олії, зокрема оксидів ZrO<sub>2</sub> і ZnO. Процес здійснювали при температурі 200°C, тиску 5,0 МПа та співвідношенні метанол : олія – 6 : 1 (мол.). Катализатор після відділення і регенерації, відновлював початкову активність.

Відомо також, що гетерогенні катализатори – катіоніт КУ-2-8 із іммобілізованими іонами металів та солі металів – у реакції трансестерифікації триолеату гліцерину (ТГ) спиртами C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> є достатньо ефективними [12, 13, 16].

Ультразвукове (УЗ) випромінювання широко застосовується в процесах вилугування, екстрагування, турбулізації середовища з метою інтенсифікації масообміну, підвищення дисперсності твердих частинок та для інтенсифікації ряду хімічних реакцій [14].

Відомо, що використання кавітаційних пристроїв у технології виробництва біодизелю дозволяє значно скоротити час хімічної реакції, інтенсифікувати перемішування реакційної суміші, а також впливає на каталітичну активність катализаторів [15]. Саме тому актуальним є дослідження процесу трансестерифікації ТГ бутан-1-олом в полі УЗ хвиль з використанням гетерогенних катализаторів.

#### Мета та завдання досліджень

Метою досліджень є вивчення процесу трансестерифікації ТГ соняшникової олії бутан-1-олом в полі УЗ коливань у присутності гетерогенного катализатора FeO та визначення оптимального способу обробки УЗ хвилями дослідженого катализатора та реакційної суміші.

#### Матеріали та методи досліджень

У роботі використовували соняшкову олію (ДСТУ 4492:2005), бутан-1-ол (ГОСТ 5208-81) і катализатор – оксид феруму (II).

Процесу трансестерифікації триолеату гліцерину бутан-1-олом (БС) досліджували при мольному співвідношенні БС : ТГ – 10 : 1, вмісті катализатора – 2 мас. %, температурі – 363-388К і тиску – 101,3-303,9 кПа на трьох лабораторних установках:

1) установка, у якій досліджували процес трансестерифікації ТГ БС при атмосферному тиску, складалася з електричної плити, гліцеринової бані та круглодонної колби, обладнаної зворотним холодильником, мішалкою та термометром;

2) установка, у якій досліджується процес трансестерифікації ТГ БС під дією УЗ при

атмосферному тиску, складалася зі скляного реактора, обладнаного зворотнім холодильником, кавітатором та термометром. Температуру в реакторі підтримували за допомогою термостату, що забезпечувало точність її регулювання;

3) установка, у якій досліджували процес трансестерифікації ТГ БС під дією УЗ при надлишковому тиску, складалася з металічного реактора, обладнаного кавітатором, зворотним холодильником та пробовідбірником. Температуру в реакторі підтримували за допомогою термостату, а контролювали термопарою. Надлишковий тиск в реакторі створювали подачею в реактор азоту із балону.

В усіх випадках у реактор чи колбу завантажували олію та БС в розрахункових кількостях, а потім вносили катализатор FeO. Кожні 30 хв з реакційної суміші відбирали проби, в яких хроматографічно визначали вміст спирту та розраховували його конверсію та конверсію ТГ.

Для аналізів застосовували хроматограф "Цвет-100" з детектором по теплопровідності. Довжина колонки становила 2 м, а її діаметр – 3 мм. Колонка була заповнена нерухомою фазою 5% Silicone SE30 на Chromaton N-AW. Як газ-носіє застосовували гелій, його витрата становила – 3 дм<sup>3</sup>/год; сила струму на детекторі – 140 мА; об'єм аналізованої проби – 2 мкл. Температура випарника становила 498К, температура детектора – 483К. Температура колонки становила 373К [16].

#### Результати досліджень та їх обговорення

Дослідження впливу температури реакції на конверсію олії здійснювали в діапазоні 363К–388К (рис. 1, 2), як катализатор використовували FeO. Дослідження здійснювали за відсутності УЗ коливань.

Встановлено, що із збільшенням температури швидкість реакції трансестерифікації та конверсія ТГ, що досягається за однаковий час, зростають.

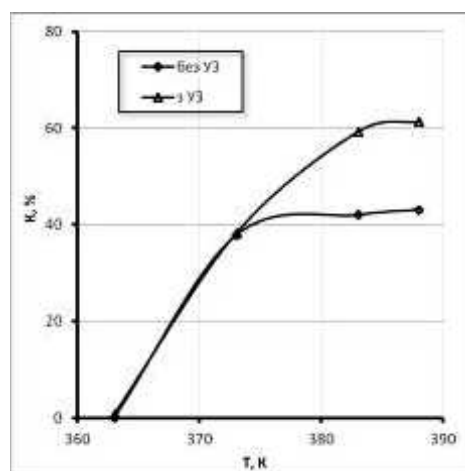


Рис. 1. – Вплив УЗ коливань на конверсію ТГ при різних температурах. Співвідношення БС : ТГ – 10 : 1 (мол.), вміст катализатора – 2 мас. %, час – 30 хв

Як видно з рис. 1 і 2, підвищення температури реакції веде до зростання конверсії олії, причому в перші 30 хв істотне підвищення конверсії спостерігається в температурному діапазоні 363-373К, а після 150 хв реакції – в діапазоні 373-388К.

Отримані результати, можуть свідчити про те, що на 30 хв в реакцію вступає перша естерна група ТГ. Враховуючи, що заміщення по першій естерній групі відбувається досить легко, можна припустити, що підвищення температури понад 373К мало впливає на швидкість реакції заміщення першої групи. Разом з тим, на глибших стадіях реакції (150 хв) підвищення температури понад 373К дозволяє збільшити реакційну здатність другої естерної групи у ТГ.

Для хімічних реакцій, що відбуваються в полі УЗ хвиль характерним є те, що з підвищенням температури хоча і підвищується швидкість випаровування рідини і полегшується виникнення кавітації, однак ефективність запліскування кавітаційних бульбашок зменшується [15]. Залежність швидкості звукохімічної реакції від температури має максимум, положення якого залежить від фізико-хімічних характеристик субстрату та тиску.

Тому було досліджено вплив УЗ хвиль на процес трансестерифікації ТГ БС (рис.1, 2).

Як видно з рис. 1, на 30 хв реакції у діапазоні температур 363-373К УЗ практично не впливає на швидкість реакції, проте при підвищенні температури понад 373К спостерігається істотне збільшення конверсії.

Можна припустити, що дія УЗ при підвищених температурах активує естерні групи ТГ і полегшує трансестерифікацію другої естерної групи в молекулі.

Як видно з рис. 2, на 150 хв реакції ультразвукові коливання дозволяють підвищити конверсії олії у всьому дослідженому діапазоні температур 363-388К. Але як і за 30 хв реакції найбільш виражена зміна конверсії спостерігається починаючи з 373К.

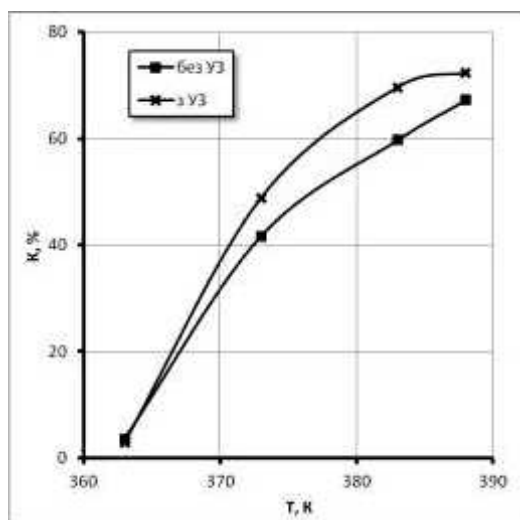


Рис. 2 – Вплив УЗ коливань на конверсію ТГ при різних температурах. Співвідношення БС : ТГ – 10 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 2 мас. %, час – 150 хв

Отже, максимальний вплив УЗ коливань на конверсію ТГ спостерігається в діапазоні температур 373-388К.

Тиск також впливає на ефективність кавітаційних процесів: інтенсивність кавітації з підвищенням тиску спочатку зростає, проходить через максимум, а при його подальшому підвищенні кавітація може повністю зникнути [15].

Як видно з табл. 1, при температурі 363К підвищення тиску з 101,3 кПа до 202,6 кПа приводить до збільшення конверсії олії, а подальше збільшення тиску до 303,9 кПа на конверсію ТГ практично не впливає.

При температурах 373К та 383К застосування підвищеного тиску навпаки зумовлює значне зниження конверсії триолеату гліцерину. Можна зробити припущення, що збільшення тиску у досліджуваному процесі негативно впливає на утворення кавітаційних центрів в реакційній системі і нівелює ефект від ультразвукового випромінювання.

Таблиця 1 – Вплив тиску на конверсію ТГ в реакції трансестерифікації у присутності каталізатора FeO в полі УЗ хвиль. Співвідношення БС : ТГ – 10 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 2 мас. %

Температура, К	Тиск, кПа	Конверсія триолеату гліцерину, %	
		30 хв	150 хв
363	101,3	0,7	3,0
	202,6	1,2	17,0
	303,9	3,6	17,8
373	101,3	38,2	48,9
	202,6	3,7	9,3
	303,9	1,2	5,2
383	101,3	59,2	69,6
	202,6	16,8	50,8
	303,9	7,4	39,5

Відомо, що для підсилення явища кавітації викликаного дією УЗ, через реакційну суміш барботують інертний газ [15].

Як видно з табл. 2, барботування через реакційну суміш азоту у полі УЗ коливань при 383 призводить до істотного зниження конверсії сировини. Тому, для досліджених умов застосування барботування інертного газу не може бути ефективним способом підвищення конверсії триолеату гліцерину.

Таблиця 2 – Вплив барботування азоту на конверсію ТГ в реакції трансестерифікації у присутності FeO в полі УЗ випромінювання. Співвідношення БС : ТГ – 10:1 (мол.), вміст каталізатора – 2 мас. %, температура – 383К

Умови	Конверсія триолеату гліцерину, %	
	30 хв	150 хв
УЗ	59,2	69,6
Без УЗ	42,1	59,7
УЗ/N <sub>2</sub>	43,1	60,2

Оскільки попередня ультразвукова обробка



гетерогенних каталізаторів веде до зростання їх каталітичної активності на 10-40 % [15], було досліджено трансестерифікацію ТГ БС у присутності попередньо обробленого УЗ хвилями оксиду феруму (II). Каталізатор попередньо обробляли УЗ у водному розчині 15 хв, висушували і вносили на реакцію.

Встановлено, що обробка оксиду феруму (II) ультразвуком практично не впливає на конверсію олії. Застосування свіжого каталізатора (1 доба після обробки) та каталізатора, який зберігався протягом 4 діб на конверсію триолеату гліцерину практично не впливає (табл. 5).

Таблиця 5 – Вплив попередньої обробки оксиду феруму (II) УЗ на конверсію ТГ в реакції трансестерифікації. Співвідношення БС : ТГ – 10 : 1 (мол.), температура – 383К, вміст каталізатора – 2 мас. %.

Час, хв	Спосіб обробки каталізатора			
	Без УЗ	1 доба	4 доби	Постійна дія УЗ
30	12,8	8,9	8,9	59,2
150	34,8	34,9	32,2	69,6

Загалом, можна припустити, що дія УЗ коливаним деформує каталітичну ґратку оксиду феруму (II) і веде до появи нових центрів каталізу, однак час їх існування є достатньо малим і при контакті каталізатора з повітрям ці центри втрачають свою активність.

### Висновки

Встановлено, що застосування ультразвуку дозволяє підвищити конверсію ТГ на 10-35%, причому яскраво виражене збільшення конверсії спостерігається, починаючи з температури 383 К. Можна зробити висновок, що збільшення тиску нівелює ефект від використання УЗ хвиль, ймовірно, за рахунок негативного впливу на процес утворення кавітаційних центрів. Також показано, що барботування азоту крізь реакційну суміш зменшує ефективність дії УЗ хвиль. Дослідження показали, що попередня обробка оксиду феруму (II) УЗ практично не впливає на конверсію ТГ. Застосування обробленого УЗ каталізатора після його зберігання протягом 1-4 діб не впливає на його каталітичну активність.

### Список літератури

1. **Frascari, D.** A pilot-scale study of alkali-catalyzed sunflower oil transesterification with static mixing and with mechanical agitation / **D. Frascari, M. Zuccaro, D. Pinelli, A. Paglianti** // *Energy Fuel*. – 2008. – V.22, № 3. – P.1493-1501. – doi: 10.1021/ef700584h.
2. **Freedman, B.** Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils / **Freedman, B., Pryde, E.H. Mounts, T.L.** // *J. Am. Oil Soc. Chem.* – 1984. – № 61. – P. 1638-1643. – doi: 10.1007/BF02541649.
3. **Pat. 4698186A US**, int. C11 C3/04, C11 C3/10. Process for the pre-esterification of free fatty acids in fats and oils / **Jeromin L., Peukert E., Wollmann G.**; applicant and holder – Henkel Kommanditgesellschaft Auf Aktien – №US

- 06/821,109; filing date 21.01.1986; publication date 06.10.1987.
4. **Watanabe, Y.** Enzymatic conversion of waste edible oil to biodiesel fuel in a fixedbed bioreactor / **Y. Watanabe, Y. Shimada, A. Sugihara, Y. Tominaga** // *J. Am Oil Soc. Chem.* – 2001. – V. 78 (2). – P.703-707. – doi: 10.1007/s11746-001-0329-5.
5. **Fukuda, H.** Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils / **H. Fukuda, A. Kondo, H. Noda** // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. – 2001. – Vol. 92, №5. – P. 405-416. – doi: 10.1016/S1389-1723(01)80288-7.
6. **Macaira, J.** Biodiesel production using supercritical methanol/carbon dioxide mixtures in a continuous reactor / **J. Macaira, A. Santana, F. Recasens, M. Angeles Larrayoz** // *Fuel*. – 2011. – V. 90. – P. 2280-2288. – doi: 10.1016/j.fuel.2011.02.017.
7. **Endalew, A. K.** Heterogeneous catalysis for biodiesel production from *Jatropha curcas* oil (JCO) / **A. K. Endalew, Y. Kiros, R. Zanzi** // *Energy*. – 2011. – V. 36, №5. – P. 2693-2700. – doi: 10.1016/j.energy.2011.02.010.
8. **Yan, S.** Advancements in heterogeneous catalysis for biodiesel synthesis / **S. Yan, C. DiMaggio, S. Mohan, M. Kim, S.O. Salley** // *Top Catal.* – 2010. – V. 53, №11. – P. 721-736. – doi: 10.1007/s11244-010-9460-5.
9. **Helwani, Z.** Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: a review / **Z. Helwani, M. R. Othman, N. Aziz, W. J. N. Fernando, J. Kim** // *Fuel Process Technol.* – 2009. – V. 90, №12. – P. 1502-1514. – doi: 10.1016/j.fuproc.2009.07.016.
10. **Jacobson, K.** Solid acid catalyzed biodiesel production from waste cooking oil / **K. Jacobson, R. Gopinath, L. Ch. Meher, A. K. Dalai** // *Applied Catal. B: Environ.* – 2008. – № 85. – P. 86-91. – doi: 10.1016/j.apcatb.2008.07.005.
11. **Jitputti, J.** Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut by different solid catalysts / **J. Jitputti, B. Kitiyanan, P. Rangsunvigit, K. Bunyakiat, L. Attanatho, P. Jenvanitpanjakul** // *Chem. Ing. J.* – 2006. – V.116 (1). – P.61-66. – doi: 10.1016/j.cej.2005.09.025.
12. **Мельник, Ю. Р.** Переробка рослинних олій шляхом їх алкохолізу ізопропіловим спиртом / **Ю. Р. Мельник, С. Р. Мельник, З. Ю. Палох та ін.** // *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. – 2015. – №25.3. – С. 135-139.
13. **Мельник, Ю. Р.** Алкоголіз тригліцеридів етанолом у присутності катіоніту КУ-2-8, модифікованого іонами металів / **Ю. Р. Мельник, З. Ю. Палох, С. Р. Мельник** // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. – 2015. – №3. – С. 78-82.
14. **Шевчук, Л. І.** Кавітація. Фізичні, хімічні, біологічні та технологічні аспекти: монографія / **Л. І. Шевчук, В. Л. Старчевський** // *Львів: Видавництво Львівської політехніки*. – 2014. – 376 с.
15. Ultrasonic Processors for Biodiesel Production. – [Web]: [http://www.hielscher.com/biodiesel\\_transesterificat\\_01.htm](http://www.hielscher.com/biodiesel_transesterificat_01.htm).
16. **Мельник, Ю. Р.** Каталіз трансестерифікації триолеату гліцерину бутан-1-олом солями двовалентних металів / **Ю. Р. Мельник, З. Ю. Палох, М. В. Кузик та ін.** // *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. – 2016. – №5. – С. 32-37.

### Bibliography (transliterated)

1. **Frascari, D., Zuccaro, M., Pinelli, D., Paglianti, A.** A pilot-scale study of alkali-catalyzed sunflower oil transesterification with static mixing and with mechanical

- agitation. *Energy Fuel*, 2008, **22**(3), 1493-1501, doi: 10.1021/ef700584h.
- Freedman, B., Pryde, E. H., Mounts, T. L.** Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *J. Am. Oil Soc. Chem.*, 1984, **61**, 1638-1643, doi: 10.1007/BF02541649.
  - Pat. 4698186A US**, int. C11 C3/04, C11 C3/10. Process for the pre-esterification of free fatty acids in fats and oils / **Jeromin, L., Peukert, E., Wollmann, G.** // applicant and holder – Henkel Kommanditgesellschaft Auf Aktien – № US 06/821, 109; filing date 21.01.1986; publication date 06.10.1987.
  - Watanabe, Y., Shimada, Y., Sugihara, A., Tominaga, Y.** Enzymatic conversion of waste edible oil to biodiesel fuel in a fixedbed bioreactor. *J. Am Oil Soc. Chem.*, 2001, **78** (2), 703-707, doi: 10.1007/s11746-001-0329-5.
  - Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H.** Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2001, **92**(5), 405–416, doi: 10.1016/S1389-1723(01)80288-7.
  - Macaira, J., Santana, A., Recasens, F., Larrayoz Angeles M.** Biodiesel production using supercritical methanol/carbon dioxide mixtures in a continuous reactor. *Fuel*, 2011, **90**, 2280-2288, doi: 10.1016/j.fuel.2011.02.017.
  - Endalew, A. K., Kiros, Y., Zanzi, R.** Heterogeneous catalysis for biodiesel production from *Jatropha curcas* oil (JCO). *Energy*, 2011, **36** (5), 2693-2700, doi: 10.1016/j.energy.2011.02.010.
  - Yan, S., DiMaggio, C., Mohan, S., Kim, M., Salley, S.O.** Advancements in heterogeneous catalysis for biodiesel synthesis. *Top Catal.*, 2010, **53** (11), 721-736, doi: 10.1007/s11244-010-9460-5.
  - Helwani, Z., Othman, M. R., Aziz, N., Fernando, W. J. N., Kim, J.** Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: a review, *Fuel Process Technol.*, 2009, **90** (12), 1502-1514, doi: 10.1016/j.fuproc.2009.07.016.
  - Jacobson, K., Gopinath, R., Meher, L. Ch., Dalai, A. K.** Solid acid catalyzed biodiesel production from waste cooking oil. *Applied Catal. B: Environ.*, 2008, **85**, 86-91, doi: 10.1016/j.apcatb.2008.07.005.
  - Jitputti, J., Kitiyanan, B., Rangsunvigit, P., Bunyakiat, K., Attanatho, L., Jenvanitpanjakul, P.** Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut by different solid catalysts. *Chem. Ing. J.*, 2006, **116** (1), 61-66, doi: 10.1016/j.cej.2005.09.025.
  - Melnyk, Yu. R., Melnyk, S. R., Palyukh, Z. Yu.** та in. Pererobka roslynnykh oliy shlyakhom yikh alkoholizu izopropilovym spirtom [Processing of vegetable oils by alcoholysis of isopropyl alcohol] *Naukovy visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy*, 2015, **25**(3), 135–139.
  - Melnyk, Yu. R., Palyukh, Z. Yu., Melnyk, S. R.** Alkoholiz tryhlitserydiv etanolom u prysutnosti kationitu KU-2-8, modyfikovanoho ionamy metaliv. [Alcoholism triglycerides ethanol in the presence of KU-2-8 cation modified metal ions] *Visnyk Skhidnoukrayinskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalya*, 2015, **3**, 78–82.
  - Shevchuk, L. I., Starchevskyy, V. L.** Kavitatsiya. Fizychni, khimichni, biolohichni ta tekhnolohichni aspekty: monohrafiya [Cavitation. Physical, chemical, biological and technological aspects: monograph]. Lviv: Vydavnytstvo *Lvivskoyi politekhniki*, 2014, 376 p.
  - Ultrasonic Processors for Biodiesel Production. [Web] [https://www.hielscher.com/biodiesel\\_transesterificat\\_01.htm](https://www.hielscher.com/biodiesel_transesterificat_01.htm)
  - Melnyk, Yu. R., Palyukh, Z. Yu., Kuzyk, M. V. та in.** Kataliz transesterifikatsiyi tryoleatu hlitserynu butan-1-olom solyamy dvovalentnykh metaliv. *Visnyk Skhidnoukrayinskoho Natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalya*, 2016, **5**, 32–37.

## Відомості про авторів (About authors)

**Мельник Юрій Романович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри технології органічних продуктів; тел.: (067) 391-09-20; e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua.

**Melnyk Yurii** – Candidate of Technical Sciences, Docent, National University Lviv Polytechnic, Associate Professor at the Department of Technology of Organic Materials; tel.: (067) 391-09-20; e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua.

**Старчевський Роман Олегович** – студент, Національний університет «Львівська політехніка», студент кафедри технології органічних продуктів; тел.: (098) 719-58-25; e-mail: star\_roma@ukr.net.

**Starchevskiy Roman** – Student, National University Lviv Polytechnic, Student at the Department of Technology of Organic Materials; tel.: (098) 719-58-25; e-mail: star\_roma@ukr.net.

*Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

**Мельник, Ю. Р.** Гетерогенно-каталітична трансестерифікація триолеату гліцерину в полі ультразвукових хвиль / **Ю. Р. Мельник, Р. О. Старчевський** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 188-192. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.30.

*Please cite this article as:*

**Melnyk, Yu., Starchevskiy, R.** Heterogeneous catalytic transesterification of glycerol trioleate in the field of ultrasonic waves. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 188–192, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.30.

*Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Мельник, Ю. Р.** Гетерогенно-каталитическая переэтерификация триолеата глицерина в поле ультразвуковых волн / **Ю. Р. Мельник, Р. О. Старчевский** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 188-192. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.30.

**АННОТАЦІЯ** Исследовано реакцію алкоголіза триолеат гліцерина бутан-1-олом в присутстві гетерогенного каталізатора – оксида заліза (II). Показано, що застосування ультразвукових коливань при температурі вище 373K суттєво підвищує конверсію триолеат гліцерина по порівнянню з здійсненням реакції при тих же умовах, але без ультразвуку. Показано, що проведення реакції при надмірному тиску або з барботуванням азоту через реакційну суміш нивелює ефект від застосування ультразвукових коливань. Також показано, що попередня обробка каталізатора – оксида заліза (II) – ультразвуковими хвилями є не ефективною.

**Ключевые слова:** подсолнечное масло; алкоголиз; бутан-1-ол; триолеат глицерина; оксид железа (II).

Надійшла (received) 14.12.2016