

УДК 66.094.942

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.25

## АЛКОГОЛІЗ ТРИГЛІЦЕРИДІВ ЕТАНОЛОМ У ПРИСУТНОСТІ СОЛЕЙ ДОВОАЛЕНТНИХ МЕТАЛІВ

З. Ю. ПАЛЮХ, С. Р. МЕЛЬНИК, Ю. Р. МЕЛЬНИК\*

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

**АНОТАЦІЯ** Досліджено реакцію алкоголізу тригліцеридів етанолом та естеро-альдегідною фракцією у присутності солей двовалентних металів – ацетатів нікелю, купруму (II), оксалатів нікелю, сульфатів нікелю, мангану (II), купруму (II), цинку, кадмію, хлоридів стануму (II), кобальту (II) та стеарату кадмію. Встановлено, що в їх присутності конверсія тригліцеридів перевищує 98%. Найактивнішим каталізатором з усіх досліджених органічних солей двовалентних металів є ацетат купруму (II), а з досліджених неорганічних солей – сульфат купруму (II). У реакції алкоголізу естеро-альдегідною фракцією конверсія тригліцеридів досягає 95% у присутності неорганічної солі – хлориду стануму (II). Виявлено, що солі двовалентних металів доцільно використовувати як каталізатори реакції алкоголізу, оскільки це дозволяє досягнути високих значень конверсії триолеату гліцерину за короткий час.

**Ключові слова:** триолеат гліцерину; алкоголіз; етанол; солі двовалентних металів; естеро-альдегідна фракція.

## TRANSESTERIFICATION OF TRIGLYCERIDES BY ETHANOL IN THE PRESENCE OF DIVALENT METAL SALTS

Z. PALYUKH, S. MELNYK, YU. MELNYK

Department of Organic Products Technology, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

**ABSTRACT** The reaction of transesterification of triglycerides by ethanol and ester-aldehyde fraction in the presence of salts of divalent metals namely nickel acetate, copper (II) acetate, nickel oxalate, nickel sulfate, manganese (II) sulfate, copper (II) sulfate, zinc sulfate, cadmium sulfate, tin (II) chloride, cobalt (II) chloride and cadmium stearate was investigated. It has been established that the triglyceride conversion in their presence exceeds 98%. The most active catalyst of all studied organic salts of divalent metals is copper (II) acetate and of inorganic salts is copper (II) sulfate. The conversion of triglycerides reaches 95% in the reaction their transesterification by ester-aldehyde fraction in the presence of inorganic salts such as tin (II) chloride. Such differences in the results obtained from the use of ethanol and ester-aldehyde fraction can be caused by several factors including the presence of significant amounts of water and other impurities in the composition of ester-aldehyde fraction. Different molar ratios and the use of salts containing other metal cations have significant affect on the conversion triglycerides. For the studied catalysts it was calculated the initial rate of conversion of triglycerides which makes it possible to compare the activity of salts of divalent metals as catalysts of transesterification reaction. This indicates that during transesterification reaction hydrolysis of triglycerides does not occur and free fatty acids are not formed. It has been revealed that salts of divalent metals can be used as transesterification catalysts since it enables to reach high values of conversion of triglycerides. It was shown that time of achieving equilibrium conversion of triglycerides more depend on the nature of the metal cations and much less on the nature of the anion salt. It was found that the salts of divalent metals partially are soluble in the reaction mixture what creates the problem of separating the catalyst from the reaction products.

**Keywords:** triglycerides; transesterification; ethanol; salts of divalent metals; ester-aldehyde fraction.

### Вступ

Алкоголіз (трансестерифікація) – це хімічний процес, який використовують, насамперед, для перетворення рослинних олій і тваринних жирів на біодизель [1,2]. У цьому випадку, використовують нижчі аліфатичні спирти для одержання метилових або етилових естерів і гліцерину. Ефективність процесу алкоголізу зменшується при збільшенні довжини вуглецевого ланцюга у молекулі спирту [3]. Проте, незважаючи на вищесказане, алкоголіз тригліцеридів також здійснюють спиртами C<sub>3</sub>-C<sub>5</sub> [4].

Існує кілька типів каталізаторів, які застосовують у реакції алкоголізу. Гомогенні каталізатори можна розділити на дві групи: луги і кислоти. Найпоширеніші лужні каталізатори – це гідроксиди та метоксиди калію і натрію [5].

Суттєвими недоліками гомогенних (як лужних так і кислотних) каталізаторів за умови використання етанолу як нетоксичного та відновлюваного агента алкоголізу є проблема відділення каталізатора з реакційної суміші та необхідність високовартісного очищення стічних вод від залишків розчинених у реакційному середовищі каталізаторів і деяких продуктів їх перетворення. Наявні у сировині вільні жирні кислоти у присутності лужного каталізатора

можуть надалі перетворюватись на мило, яке зв'язує реагенти у гелі, що не розділяються на естерний та гліцеринний шар після завершення реакції алкоголізу [6].

Промислові лужні каталізатори алкоголізу тригліцеридів є менш ефективними при застосуванні етилового спирту, адже вони сприяють збільшенню втрат етилових естерів з гліцериновою фракцією і для повнішого перебігу процесу алкоголізу вимагають вищого надлишку спирту [7].

Відомо, що у реакціях трансестерифікації [8] та естерифікації високу активність виявляють солі металів, які обмежено чи практично нерозчинні у реакційному середовищі [9]. Це дозволяє відділити каталізатор від продуктів реакції для його багаторазового застосування у технологічному процесі.

Відповідно дослідження алкоголізу тригліцеридів етанолом у присутності каталізаторів – солей двовалентних металів, становить як науковий, так і практичний інтерес.

#### Мета та завдання досліджень

Метою досліджень було визначення закономірностей реакції алкоголізу тригліцеридів етанолом та естеро-альдегідною фракцією у присутності солей (ацетатів, сульфатів, хлоридів, оксалатів, стеаратів), що містять іони двовалентних металів, таких як  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ .

#### Матеріали та методи досліджень

У роботі використовували такі реактиви: соняшникову олію (ДСТУ 4492:2005), спирт етиловий (ЕС) ректифікований (ДСТУ 4221:2003), естеро-альдегідну фракцію (ЕАФ) (ТУ У 18.401-97). Як каталізатор, застосовували солі двовалентних металів: ацетати нікелю (ТУ 6-09-02-516-91), купрум (II) (ГОСТ 5852-79), оксалат нікелю (ГОСТ 22180-76), сульфати нікелю (ГОСТ 4465-74), мангану (II) (ГОСТ 435-77), купрум (II) (ГОСТ 19347-99), цинку (ГОСТ 4174-77), кадмію (ГОСТ 4456-75), хлорид стануму (II) (ГОСТ 36-78), кобальту (II) (ГОСТ 4525-77), стеарат кадмію (ГОСТ 4456-75).

Для реактивів, що використовували в дослідженнях було визначено початкові кислотні числа: етанол – 0,8 мг КОН/г, ЕАФ – 0,5 мг КОН/г, соняшnikова олія – 3,7 мг КОН/г.

У дослідженнях використовували естеро-альдегідну фракцію виробництва спирту-ректифікату, яка містила 8,2 мас. % води, і безводний етиловий спирт, осушений прожареним сульфатом магнію.

Реакцію алкоголізу триолеату гліцерину етанолом та естеро-альдегідною фракцією здійснювали при температурі 353К, мольному співвідношенні реагентів ЕС : ТГ – 6 : 1, ЕС (у ЕАФ) :

ТГ – 4 : 1 і концентрації каталізатора 0,017 моль/дм<sup>3</sup> у реакційній установці, яка складалася з термостійкої круглодонної колби, зворотного холодильника, механічної мішалки з гідрозатвором. За початок реакції приймали момент досягнення реакційною сумішшю температури 343К. Через визначені проміжки часу відбирали проби реакційної суміші для хроматографічного визначення концентрації етанолу в реакційній суміші. За визначеною концентрацією спирту в реакційній суміші розраховували конверсію тригліцеридів.

Кислотне число реакційної суміші визначали згідно методики [10].

Вміст ЕС у продуктах алкоголізу тригліцеридів визначали за допомогою газорідного хроматографа "Цвет-100" з детектором по теплопровідності. Для аналізу реакційної суміші використано колонку завдовжки 2 м, діаметром 3 мм, заповнену нерухомою фазою 5% Silicone SE30 на Chromaton N-AW. Газ-носії – гелій, витрата якого становила – 3 дм<sup>3</sup>/год; сила струму на детекторі – 120 мА; об'єм аналізованої проби – 2 мкл. Температура випарника становила 483К, температура детектора – 443К. Температура колонки становила 353К.

#### Результати досліджень та їх обговорення

Встановлено, що в реакції алкоголізу ТГ етанолом у присутності органічних та неорганічних солей двовалентних металів досягається конверсія тригліцеридів понад 98% (рис. 1, 2).

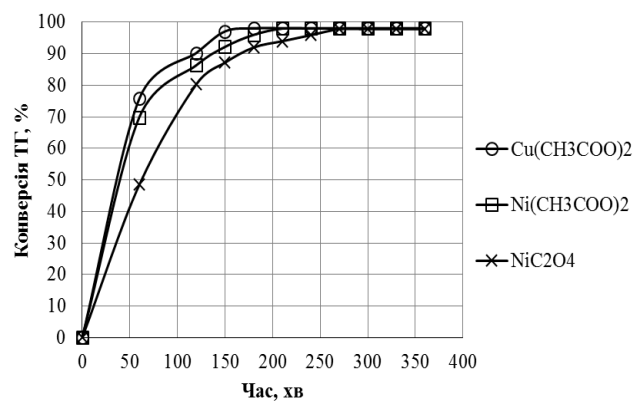


Рис. 1 – Залежність конверсії ТГ від часу в реакції алкоголізу етанолом у присутності ацетатів та оксалату металів. Температура реакції – 353К, етанол : ТГ – 6 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 0,017 моль/дм<sup>3</sup>

Як видно з рис. 1. при застосуванні як каталізатора ацетату нікелю за перші 60 хв реакції алкоголізу конверсія ТГ становить 69,9%, збільшення часу експерименту призводить до подальшого менш інтенсивного зростання ступеня перетворення та досягнення рівноважної конверсії ТГ за 240 хв –

98,0%. Застосування ацетату купруму (II) дає можливість досягти вищих на декілька відсотків протягом усього часу реакції значень конверсії ТГ, ніж при використанні ацетату нікелю. Рівноважна конверсія ТГ у присутності ацетату купруму (II) досягається за 150 хв реакції алкоголізу і становить 98,1%.

У присутності оксалату нікелю спостерігається нижча швидкість реакції, проте рівноважна конверсія 97,8%, яка досягається за 270 хв, близька до тієї, що спостерігається у присутності ацетатів.

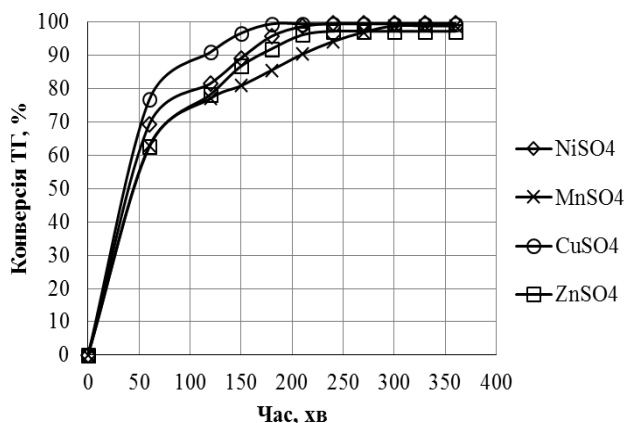


Рис. 2 – Залежність конверсії ТГ від часу в реакції алкоголізу етанолом у присутності сульфатів двовалентних металів. Температура реакції – 353К, етанол : ТГ – 6 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 0,017 моль/дм<sup>3</sup>

При застосуванні сульфатів двовалентних металів характер кривих зміни конверсії в часі є близьким. У присутності всіх досліджених сульфатів досягається рівноважна конверсія не менше, ніж 97–98%. Проте у досить широкому інтервалі змінюється час її досягнення: від 180 хв у присутності сульфату купруму (II) до майже 300 хв у присутності сульфату мангану (II) (рис. 2).

Для досліджених каталізаторів розраховували початкову швидкість перетворення тригліцеридів, що дає можливість порівняти активність солей двовалентних металів як каталізаторів реакції алкоголізу. Також визначали кислотні числа реакційних сумішей, значення яких є невисокими, що свідчить про те, що в умовах реакції алкоголізу гідроліз ТГ не відбувається і ВЖК не утворюються (табл. 1).

З табл. 1 очевидно, що найвища початкова швидкість перетворення тригліцеридів –  $2,7 \cdot 10^{-5}$  та  $2,8 \cdot 10^{-5}$  моль/(дм<sup>3</sup>·с), спостерігається при використанні, як каталізатора, солей купруму (II). Найнижча початкова швидкість –  $1,7 \cdot 10^{-5}$  моль/(дм<sup>3</sup>·с), спостерігається при використанні оксалату нікелю.

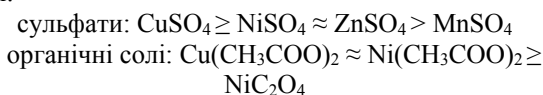
Раніше одержані нами результати дослідження алкоголізу ТГ бутан-1-олом у присутності солей двовалентних металів показали [11], що реакція відбувається з помітним періодом індукції, який триває 60–120 хв, а збільшення швидкості перетворення тригліцеридів спостерігається після досягнення конверсії ТГ більше 5 %. Таку відмінність можна пояснити різною розчинністю солей в реакційній суміші, що містить спирти з різною довжиною вуглецевого ланцюга.

Таблиця 1 – Вплив солі двовалентного металу на алкоголіз ТГ. Температура реакції – 353К, етанол : ТГ – 6 : 1 (мол.), конц. каталізатора – 0,017 моль/дм<sup>3</sup>

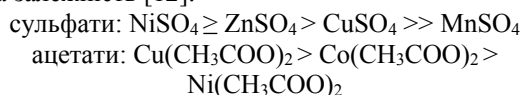
Каталізатор	Конверсія ТГ, %		Поч. швидкість перетворення тригліцеридів $\Gamma \cdot 10^5$ , моль/(дм <sup>3</sup> ·с)	КЧ реакційної суміші, мг КОН/г
	180 хв	360 хв		
NiC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	92,0	97,8	1,8	0,80
Ni(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	96,0	98,0	2,5	0,75
Cu(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	98,1	98,1	2,7	0,80
NiSO <sub>4</sub>	95,8	99,6	2,5	0,70
MnSO <sub>4</sub>	85,6	98,9	2,3	0,80
CuSO <sub>4</sub>	99,5	99,5	2,8	0,80
ZnSO <sub>4</sub>	92,0	97,3	2,2	0,80

Встановлено, що природа аніону мало впливає на конверсію ТГ у реакції їх алкоголізу етанолом. Застосування солей, що містять як органічні, так і неорганічні аніони дозволяє досягнути високої конверсії тригліцеридів.

За конверсією ТГ на 180 хв реакції з ЕС досліджені солі двовалентних металів утворюють ряди:



При алкоголізі ТГ бутан-1-олом спостерігалася інша залежність [12]:



Такі відмінності у результатах, отриманих при використанні різних спиртів, можуть бути пов'язані з тим, що при алкоголізі ТГ бутан-1-олом у присутності практично всіх солей спостерігався досить тривалий період індукції.

Естери-альдегідна фракція містить не менше 92 об. % етанолу, що робить її потенційною сировиною для реакції алкоголізу. Як каталізатори алкоголізу ТГ естери-альдегідною фракцією застосовували хлориди стануму (II), кобальту (II), стеарат кадмію і сульфат кадмію. Встановлено, що при використанні як

каталізатора хлориду стануму (II) досягається конверсія ТГ 94,1%. Практично однаковий характер зміни конверсії ТГ у часі та досягнута рівноважна конверсія спостерігаються для хлориду кобальту (II) та сульфату кадмію – 84,7 % та 81,8 %, відповідно. У присутності стеарату кадмію з подальшим збільшенням часу експерименту конверсія ТГ зростає незначно і за 180 хв досягає лише 32,6 % (рис. 3).

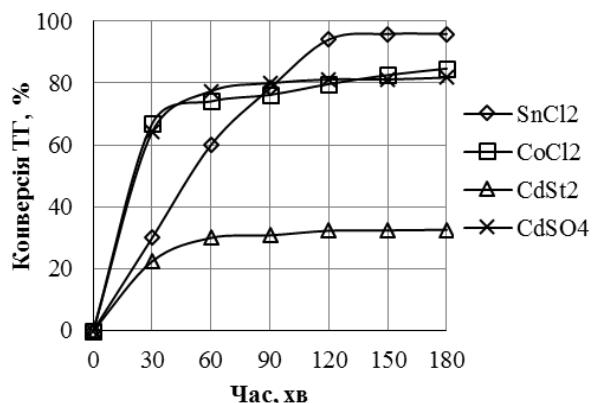


Рис. 3 – Залежність конверсії ТГ від часу в реакції алкоголізу ЕАФ у присутності солей металів. Температура реакції – 353К, ЕАФ : ТГ – 4 : 1 (мол.), вміст солей – 0,017 моль/дм<sup>3</sup>

Такі відмінності у результатах, отриманих із використанням ЕС і ЕАФ, можуть бути викликані декількома чинниками, зокрема наявністю значної кількості води та інших домішок у складі ЕАФ, різним мольним співвідношенням ЕС : ТГ і застосуванням солей, які містять інші катіони металів. Щоправда, за результатами отриманими при алкоголізі ТГ у присутності ЕС, можна стверджувати, що природа катіону двовалентного металу мало впливає на досягнуту в реакції конверсію ТГ.

Таблиця 2 – Вплив солі двовалентного металу на алкоголіз ТГ. Температура реакції – 353К, ЕАФ : ТГ – 4 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 0,017 моль/дм<sup>3</sup>

Каталізатор	Конверсія ТГ, %		Поч. швидкість перетворення тригліцеридів г·10 <sup>5</sup> , моль/(дм <sup>3</sup> ·с)	КЧ реакційної суміші, мг КОН/г
	90 хв	180 хв		
SnCl <sub>2</sub>	78,3	95,9	2,6	1,5
CoCl <sub>2</sub>	76,2	84,7	4,4	2,1
CdSt <sub>2</sub>	30,8	32,6	2,0	3,4
CdSO <sub>4</sub>	80,0	81,8	5,6	1,1

Встановлено, що при застосуванні як реагенту ЕАФ початкова швидкість перетворення тригліцеридів є найвищою в присутності сульфату кадмію та хлориду кобальту (II) – 5,6·10<sup>-5</sup> та 4,4·10<sup>-5</sup> моль/(дм<sup>3</sup>·с), відповідно. Проте, після 30 хв реакції швидкість перетворення тригліцеридів різко зменшується, на відміну від каталізу хлоридом стануму (II), у присутності якого початкова швидкість перетворення є дещо нижчою – 2,6·10<sup>-5</sup> моль/(дм<sup>3</sup>·с), але зберігає своє високе значення достатньо тривалий час (до 120 хв реакції). У присутності стеарату кадмію початкова швидкість перетворення тригліцеридів є найнижчою – 2,0·10<sup>-5</sup> моль/(дм<sup>3</sup>·с).

Отримані значення кислотних чисел реакційних сумішей показують, що при каталізі алкоголізу тригліцеридів ЕС і ЕАФ солями двовалентних металів гідроліз ТГ до вільних кислот не відбувається, а у присутності етанолу також має місце часткова естерифікація вільних жирних кислот, присутніх в олії.

Отже, використання як каталізаторів алкоголізу тригліцеридів етиловим спиртом солей двовалентних металів є достатньо ефективним, оскільки конверсія ТГ перевищує 98%. Проте для досліджених солей характерним є те, що вони частково або повністю розчинні в реакційній суміші, тому проблема вилучення каталізатора з продуктів реакції зберігається. Щодо можливості застосування для алкоголізу тригліцеридів ЕАФ, то це питання потребує подальших досліджень, і результати, отримані при каталізі реакції хлоридом стануму (II), підтверджують доцільність таких досліджень.

## Висновки

Встановлено, що застосування органічних і неорганічних солей двовалентних металів в реакції алкоголізу тригліцеридів етиловим спиртом дозволяє досягти високої конверсії ТГ. Показано, що час досягнення рівноважної конверсії ТГ більшою мірою залежить від природи катіону металу і, значно меншою, від природи аніону солі. Виявлено, що в умовах реакції досліджені солі частково розчинні у реакційній суміші, що не дозволяє усунути проблему вилучення каталізатора із продуктів реакції.

## Список літератури

1. Gerpen, J. V. Biodiesel processing and production / J. V. Gerpen // *Fuel Processing Technology*. – 2005. – № 86. – P. 1107–1097. – doi:10.1016/j.fuproc.2004.11.005.
2. Zhou, W. Ethyl esters from the single-phase base-catalyzed ethanolysis of vegetable oils / W. Zhou, Samir K. Konar, David G. B. Boocock // *J. Amer. Oil. Chem. Soc.* – 2003. – №80. – P. 367–371. – doi:10.1007/s11746-003-0705-1.

3. **Canakci, M.** Biodiesel production via acid catalysis / **M. Canakci, J. Gerpen.** // *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* – 1999. – №42. – P. 1203–1210. – doi: 10.13031/2013.13285.
4. Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition) [Електронний ресурс] / [Т. L. Alleman, R. L. McCormick, E. D. Christensen та ін.]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1347103>.
5. An Innovative Biodiesel Production / [R. Maceiras, A. Cancela, M. Rodriguez та ін.]. // *Chemical Engineering transaction.* – 2010. – №19. – С. 97–102. – doi:10.3303/CET1019017.
6. **Soetaert, W.** Biofuels / **W. Soetaert, E. Vandamme.** – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2009. – 242 с. – doi: 10.1002/9780470754108.ch1.
7. **Ющенко, С. Л.** Обґрунтування промислової реалізації етанолізу рослинних олій при отриманні біодизелю / **С. Л. Ющенко, Г. С. Столяренко, С. П. Орлов, Н. М. Фоміна, М. В. Овчаренко, М. І. Грушицький, В. Г. Семенов** // *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.* – 2011. – № 8 – с. 134.
8. **Свирский, К. С.** Этерификация, переэтерификация и полимеризация карбоновых кислот и их эфиров в присутствии хлорида палладия (II) / **К. С. Свирский** // *автореф. дисс. канд. хим. наук : спец. 02.00.03 «Органическая химия»* – Уфа: 2011. – С. 23.
9. **Melnyk, S.** Perfluorooxasulphonates of metals – the catalysts of ester's manufacture / **S. Melnyk** // *Chemistry & Chemical Technology.* – 2013.– Vol. 7. – №9 – P. 257–260.
10. Estimation of free fatty acids [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: [http://www.biocyclopedia.com/index/plant\\_protocols/lipids/Estimation\\_of\\_free\\_fatty\\_acids.php](http://www.biocyclopedia.com/index/plant_protocols/lipids/Estimation_of_free_fatty_acids.php).
11. **Мельник, Ю. Р.** Каталіз трансестерифікації триолеату гліцерину бутан-1-олом солями дво валентних металів / **Ю. Р. Мельник, З. Ю. Палюх, М. В. Кузык, С. Р. Мельник, О. В. Пожарська** // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля.* – 2016. – №5 (229). – С. 32–37.
2. **Zhou, W., Konar, Samir K. & Boocock David, G. B.** Ethyl esters from the single-phase base-catalyzed ethanolysis of vegetable oils, *J. Amer. Oil. Chem. Soc.*, 2003, **80**, 367–371, doi:10.1007/s11746-003-0705-1.
3. **Canakci, M. & Gerpen, J.** Biodiesel production via acid catalysis, *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 1999, **4**, 1203–1210, doi:10.13031/2013.13285.
4. **Alleman, T. L., McCormick, R. L., Christensen, E. D., Fiorini, G., Moriarty, K. & Yanowitz, J.** Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition). Retrieved April 20, 2017, from: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1347103>.
5. **Maceiras, R., Cancela, A., Rodriguez, M., Sancgaz, A. & Urrejola, S.** An Innovative Biodiesel Production. *Chemical Engineering transaction*, 2010, **19**, 97–102, doi:10.3303/CET1019017.
6. **Soetaert, W. and Vandamme, E. J.** Biofuels in Perspective, in *Biofuels* (eds W. Soetaert and E. J. Vandamme), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. 2009, doi:10.1002/9780470754108.ch1
7. **Yushchenko, S.L. Stolyarenko, H. S., Orlov, S. P., Fomina, N. M., Ovcharenko, M. V., Hrushyts'kyi, M. I. & Semenov, V. H.** Obhruntuvannya promyslovoi realizatsiyi etanolizu roslynnykh oliy pry otrymanni biodyzelyu. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky*, 2011, **8**, 134.
8. **Svirskij, K. S.** Jeterifikacija, perejeterifikacija i polimerizacija karbonovyh kislot i ih jefirov v prisutstvii hlorida palladija (II). *Avtoref. diss. kand. him. nauk : spec. 02.00.03 «Organicheskaja himija»*, 2011, 23.
9. **Melnyk, S.** Perfluorooxasulphonates of metals – the catalysts of ester's manufacture. *Chemistry & Chemical Technology*, 2013, **7(9)**, 257–260.
10. Methodology for Lipids. Retrieved April 20, 2017, from [http://www.biocyclopedia.com/index/plant\\_protocols/lipids/Estimation\\_of\\_free\\_fatty\\_acids.php](http://www.biocyclopedia.com/index/plant_protocols/lipids/Estimation_of_free_fatty_acids.php).
11. **Melnyk, Yu. R., Palyukh, Z. Yu., Kuzyk, M. V., Pozharska, O.V., & Melnyk, S. R.** Kataliz transesterifikatsiyi tryoleatu hlitserynu butan-1-olom solyamy dvovalentnykh metaliv. *Visnyk Shkhidnoukrayinskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalya*, 2016, **5**, 32–37.

#### Bibliography (transliterated)

1. **Gerpen, J. V.** Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*, 2005, **86**, 1107–1097, doi:10.1016/j.fuproc.2004.11.005.

#### Відомості про авторів

**Палюх Зоряна Юрївна** – аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», аспірант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: Zoriana.Y.Paliukh@lpnu.ua.

**Palyukh Zoryana** – PhD student, National University Lviv Polytechnic, PhD student at the Department of Organic Products Technology; Lviv, Ukraine; e-mail: Zoriana.Y.Paliukh@lpnu.ua.

**Мельник Степан Романович** – доктор технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: stepan.r.melnyk@lpnu.ua.

**Melnyk Stepan** – Doctor of Technical Sciences, Docent, National University Lviv Polytechnic, Professor at the Department of Organic Products Technology; Lviv, Ukraine; e-mail: stepan.r.melnyk@lpnu.ua.

**Мельник Юрій Романович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua.

**Melnyk Yurii** - Candidate of Technical Sciences, Docent, National University Lviv Polytechnic, Associate Professor at the Department of Organic Products Technology; Lviv, Ukraine; e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Палюх, З. Ю.** Алкоголіз тригліцеридів етанолом у присутності солей двовалентних металів / **З. Ю. Палюх, Ю. Р. Мельник, С. Р. Мельник** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 158-163. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.25.

Please cite this article as:

**Palyukh, Z., Melnyk, Yu., Melnyk, S.** Transesterification of triglycerides by ethanol in the presence of divalent metal salts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 158–163. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.25.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Палюх, З. Ю.** Алкоголиз триглицеридов этанолом в присутствии солей двухвалентных металлов / **З. Ю. Палюх, Ю. Р. Мельник, С. Р. Мельник** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 158-163. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.25.

**АННОТАЦИЯ** Исследовано реакцию алкоголиза триглицеридов этанолом и эфиральдегидной фракции в присутствии солей двухвалентных металлов – ацетатов никеля и меди (II), оксалата никеля, сульфатов никеля, марганца (II), меди (II), цинка, кадмия, хлоридов олова (II), кобальта (II) и стеарата кадмия. Установлено, что в реакции алкоголиза этанолом конверсия триглицеридов превышает 98%. Наиболее активным катализатором из всех исследованных органических солей двухвалентных металлов является ацетат меди (II), а из исследованных неорганических солей – сульфат меди (II). В реакции алкоголиза эфиральдегидной фракции конверсия триглицеридов достигает 95% в присутствии неорганической соли – хлорида олова (II). Показано, что в качестве катализаторов реакции алкоголиза целесообразно использовать соли двухвалентных металлов, поскольку это дает возможность достичь высоких значений конверсии триглицеридов и уменьшить долю побочных реакций.

**Ключевые слова:** триглицериды; алкоголиз; этанол; соли двухвалентных металлов; эфиральдегидной фракция.

Надійшла (received) 22.05.2017