

Мельник Ю.Р., Черніченко О.В., Мельник С.Р., Магорівська Г.Я.

АДСОРБЦІЯ ОЛЕЇНОВОЇ КИСЛОТИ НА ІОНООБМІННІЙ СМОЛІ КУ-2-8

Досліджено закономірності адсорбції олеїнової кислоти з її розчину в соняшниковій олії на катіоніті КУ-2-8. Встановлено, що при використанні попередньо висушеного адсорбента рівноважна концентрація олеїнової кислоти в розчині соняшникової олії досягається за 60–90 хв. Присутність у складі катіоніту вологи (вологість повітряно-сухого катіоніту становить 15,9 %) збільшує час досягнення рівноважної концентрації олеїнової кислоти з 60 хв. за температури 303 К до понад 120 хв. з підвищенням температури до 323 і 343 К. Встановлено, що з підвищенням температури адсорбції з 303 до 323 К збільшується кількість адсорбованої кислоти на одиницю маси адсорбента. Подальше підвищення температури до 343 К веде до незначного збільшення кількості адсорбованої олеїнової кислоти під час адсорбції на повітряно-сухому катіоніті (приблизно на 6 %) і до помітного збільшення кількості адсорбованої олеїнової кислоти на попередньо висушеному адсорбенті. Встановлено, що збільшення вмісту адсорбента в розчині з 2 до 6 мас. % веде до незначного зниження кількості адсорбованої на одиниці маси катіоніту олеїнової кислоти. Отримані результати адсорбції олеїнової кислоти на катіоніті проаналізовані з використанням рівнянь адсорбції Ленгмюра, Фрейндліха та Дубініна-Радушкевича. За результати аналізу рівняння Фрейндліха встановлено, що адсорбція олеїнової кислоти на катіоніті відбувається за механізмом фізичної адсорбції. Розраховані за рівнянням Дубініна-Радушкевича значення енергії адсорбції, які становлять 5,7–7,8 кДж/моль для повітряно-сухого і 5,1–6,8 кДж/моль для попередньо висушеного катіоніту, також підтверджують висновок про механізм фізичної адсорбції олеїнової кислоти. За від'ємними значеннями вільної енергії Гіббса та додатними значеннями ентропії адсорбції зроблено висновок про самовільний перебіг адсорбції олеїнової кислоти як на повітряно-сухому, так і на попередньо висушеному катіоніті КУ-2-8.

Ключові слова: адсорбція, олеїнова кислота, катіоніт КУ-2-8, модель Ленгмюра, модель Фрейндліха, модель Дубініна-Радушкевича.

Вступ. Використання нерафінованої чи відпрацьованої олії як сировини для трансестерифікації аліфатичними спиртами значно обмежене присутністю в їх складі великої кількості вільних жирних кислот. Ці кислоти при застосуванні традиційних основних гомогенних каталізаторів утворюють мило і значно ускладнюють технологічний процес, насамперед стадію розділення продуктів реакції, зокрема виділення гліцерину [1].

Постановка проблеми. Нерафінована та відпрацьована олія є перспективним та дешевим джерелом тригліцеридів для реакції трансестерифікації, проте присутність в їх складі вільних жирних кислот істотно ускладнює процес. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми може бути оброблення олії з метою вилучення кислот. Таке оброблення може полягати у здійсненні процесу трансестерифікації у дві стадії, перша з яких відбувається в присутності кислотних каталізаторів і полягає в естерифікації вільних кислот аліфатичним спиртом з подальшою нейтралізацією кислотного каталізатора і проведенням другої стадії – власне трансестерифікації – в присутності традиційних гомогенних основних каталізаторів [2]. Іншим напрямком є оброблення нерафінованої олії адсорбентами, які забезпечують вилучення вільних жирних кислот з олії [3]. Тому пошук ефективних адсорбентів вільних жирних кислот із нерафінованої або відпрацьованої олії є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Із метою перероблення соєвої олії з високим вмістом вільних жирних кислот досліджено двостадійний процес, першою стадією якого є естерифікація вказаних кислот у присутності кислотних каталізаторів [4]. Авторами запропоновано використовувати $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ як каталізатор естерифікації вільних жирних кислот. Показано, що за мольного співвідношення етанол : олеїнова кислота – 120 : 1 та мольного співвідношення соєва олія : кислотний каталізатор – 100 : 1 хлорид олова демонструє активність близьку до активності сульфатної кислоти і дає змогу за 2 год. досягнути конверсії вільних жирних кислот близько 93 %.

У роботі [5] наведено результати дослідження двостадійного процесу трансестерифікації тригліцеридів метанолом. Авторами визначено вплив мольного співвідношення між реагентами, кількості кислотного каталізатора, тривалості реакції та початкового вмісту вільних жирних кислот у сировині на закономірності процесу. З використанням модельних сумішей, що містять 20 і 40 % пальмітинової кислоти, а надалі із застосуванням природної сировини із вмістом вільних жирних кислот 12 і 33 %, встановлено, що за оптимальних умов використання на першій стадії як каталізатора естерифікації сульфатної кислоти дає змогу знизити вміст вільних жирних кислот до менш ніж 1 %. Отримана реакційна суміш після відмивання кислотного каталізатора була придатна до трансестерифікації тригліцеридів метанолом у присутності лужного каталізатора.

Для вилучення вільних жирних кислот досліджено широкий спектр як природних, так і синтетичних адсорбентів.

Зокрема встановлено, що адсорбція олеїнової кислоти на силіманіті відбувається за рахунок взаємодії протону кислоти та НО-групи адсорбенту з подальшим утворенням води [6]. Автори вказують, що адсорбція олеїнової кислоти відбувається в моношарі, що дає змогу стверджувати про перебіг її хемосорбції. В роботі також наведено результати дослідження кінетики процесу адсорбції кислоти та запропоновано її механізм.

Як адсорбент для вилучення олеїнової кислоти з розчину досліджено багатопористі нанотрубки [7]. Авторами вивчено вплив температури та початкової концентрації адсорбату на процес адсорбції та встановлено, що кількість олеїнової кислоти, адсорбованої на поверхні вуглецевих нанотрубок, зростає зі збільшенням початкової концентрації адсорбату за постійної температури та знижується зі збільшенням температури при постійній початковій концентрації олеїнової кислоти в розчині. Встановлено, що процес адсорбції олеїнової кислоти на поверхні нанотрубок є екзотермічним.

Досліджено процес адсорбції вільних жирних кислот із водних розчинів на целюлозних нанотрубках, модифікованих β -декстраном [8]. Показано, що модифікування поверхні целюлозних нанотрубок β -декстраном покращує їхні механічні властивості, збільшує термічну стійкість, а також у понад 2 рази підвищує ступінь вилучення пальмітинової кислоти з розчину – з 15,62 % (немодифіковані целюлозні нанотрубки) до 33,14 % (модифіковані β -декстраном нанотрубки). Модифіковані нанотрубки зберігають свої адсорбційні властивості після п'яти циклів роботи, тоді як для немодифікованих нанотрубок спостерігається зниження адсорбційної ефективності вже після другого циклу. Авторами встановлено, що адсорбція пальмітинової кислоти є ендотермічним процесом, який відбувається за механізмом хемосорбції в моношарі.

Результати дослідження закономірностей адсорбції вільних жирних кислот із нерафінованої пальмової олії на бентоніті Ujong Pasu наведені в роботі [9]. Авторами досліджено вплив часу контакту та початкової концентрації вільних жирних кислот на процес адсорбції. Встановлено, що кінетику адсорбції вільних жирних кислот описує модель реакції псевдодругого порядку, а оброблення результатів реакції за моделлю Фрейндліха показує, що адсорбат утворює на поверхні бентоніту декілька шарів. Такі результати свідчать про перебіг фізичної адсорбції вільних жирних кислот. Авторами встановлені оптимальні умови адсорбції вільних жирних кислот із сирової пальмової олії, за яких ступінь вилучення кислот становить майже 93 %.

У роботі [10] наведено результати дослідження адсорбції олеїнової кислоти з її модельного розчину в соняшниковій олії на аніонообмінній смолі АВ-17-8. Вивчено вплив вологості аніоніту, температури процесу адсорбції, вмісту адсорбенту на кінетику адсорбції олеїнової кислоти. Встановлено, що використання попередньо висушеного аніоніту як адсорбенту прискорює досягнення рівноважної концентрації олеїнової кислоти, а підвищення температури і вмісту адсорбенту збільшують ступінь адсорбції олеїнової кислоти з розчину. Показано, що адсорбція кислоти задовільно описує рівняння Ленгмюра. Розраховані значення енергії активації адсорбції та термодинамічні характеристики процесу свідчать, що адсорбція олеїнової кислоти відбувається спонтанно і є фізичною.

Отже, використання адсорбентів різної природи є ефективним способом вилучення вільних жирних кислот із розчинів і може бути використане для зниження їх вмісту в олійній сировині, яку використовують у реакції трансестерифікації.

Мета. Метою є дослідження кінетики адсорбції олеїнової кислоти з її модельного розчину в соняшниковій олії на катіоніті КУ-2-8.

Експериментальна частина. У дослідженнях використовували олеїнову кислоту (ДСТУ 4830:2007, марки «Б») та рафіновану соняшкову олію (ДСТУ 4492:2017). Як адсорбент використовували катіонообмінну смолу КУ-2-8 (вищий гатунок). Катіонообмінну смолу КУ-2-8 застосовували в повітряно-сухому вигляді (вологість 15,9 %) та після висушування. Висушування катіонообмінної смоли здійснювали при температурі 363–368 К до досягнення постійної маси. Для дослідження кінетики адсорбції використовували модельний розчин олеїнової кислоти в рафінованій соняшниковій олії. Кислотне число розчину становило 8,5 мг КОН/г олії, що відповідало вмісту олеїнової кислоти 4,3 мас. %.

Адсорбції олеїнової кислоти з розчину в соняшниковій олії досліджували в інтервалі температур 303–343 К у хімічній склянці при постійному перемішуванні магнітною мішалкою. Вміст адсорбенту змінювали в межах 2–6 мас. %. Періодично відбирали проби, в яких визначали вміст олеїнової кислоти кислотним титруванням за методикою, наведеною в роботі [10].

Концентрацію олеїнової кислоти в розчині (мг/г), кількість адсорбованої олеїнової кислоти в розрахунку на 1 г адсорбента, частку вилученої з розчину олеїнової кислоти (мас. %) розраховували за методикою, наведеною в роботі [11].

Результати досліджень та їх обговорення. Встановлено, що кінетичні криві адсорбції олеїнової кислоти на повітряно-сухому та попередньо висушеному катіоніті КУ-2-8 мають схожий характер (рис. 1). Проте при використанні попередньо висушеного катіоніту рівноважна концентрація олеїнової кислоти в розчині досягається за 60–90 хв. (рис. 1б), тоді як при застосуванні повітряного сухого адсорбенту рівноважна концентрація олеїнової кислоти досягається за 60 хв. при 303 К, а з підвищенням температури рівновага досягається після 120 хв. (рис. 1а).

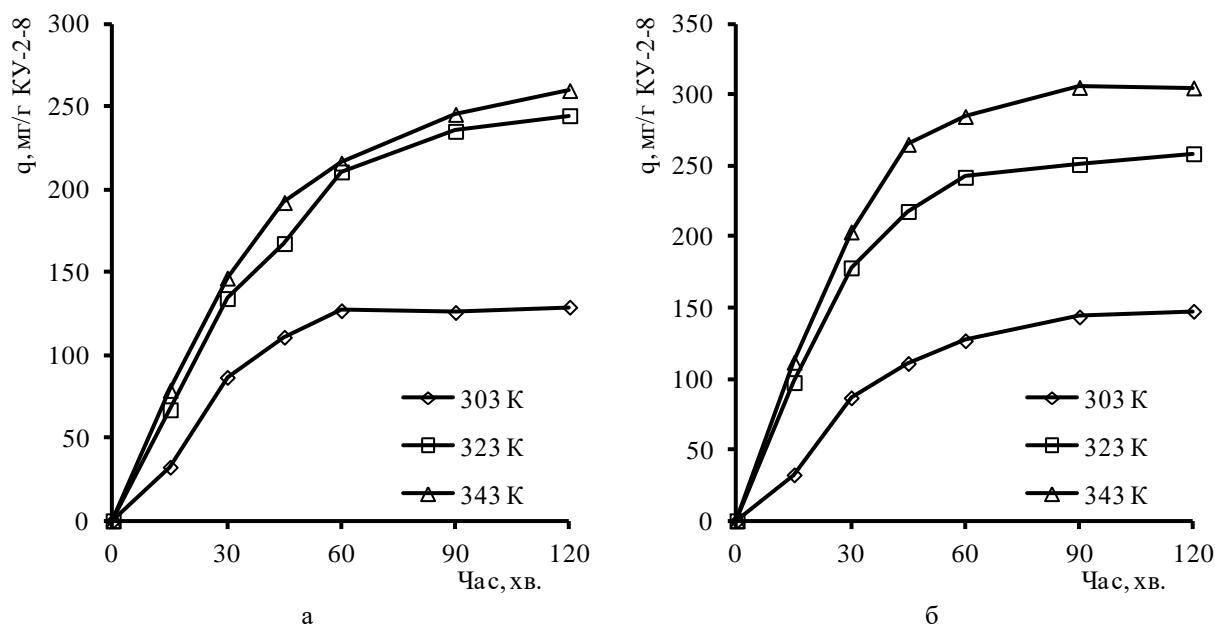


Рисунок 1 – Кінетичні криві адсорбції олеїнової кислоти з її розчину в соняшниковій олії на повітряно-сухому (а) та попередньо висушеному (б) катіоніті КУ-2-8. Вміст адсорбента – 2 мас. %, початкова концентрація олеїнової кислоти – 4,3 мас. %

З підвищенням температури процесу адсорбції на повітряно-сухому катіоніті до 323 К кількість адсорбованої олеїнової кислоти на 1 г катіоніту в стані рівноваги збільшується більше ніж у 2 рази – з 129,1 мг/г до 244,8 мг/г. Подальше підвищення температури до 343 К супроводжується незначним збільшенням кількості адсорбованої олеїнової кислоти на 1 г катіоніту (лише на 6,2 %). За використання попередньо висушеного катіоніту підвищення температури з 303 К до 323 К, а надалі й до 343 К супроводжується зростанням кількості адсорбованої олеїнової кислоти з 147,7 мг/г на 75,2 і 106,6 %, відповідно. Загалом, за однакової температури у стані рівноваги на поверхні попередньо висушеного катіоніту адсорбується більше олеїнової кислоти, ніж на поверхні повітряно-сухого.

Збільшення вмісту адсорбенту в розчині олеїнової кислоти (незалежно від того, чи він повітряно-сухий, чи попередньо висушений) за однакової температури веде до незначного зменшення кількості адсорбованої на 1 г катіоніту олеїнової кислоти у стані рівноваги (табл. 1).

Таблиця 1

Залежність кількості адсорбованої в стані рівноваги олеїнової кислоти від температури і вмісту катіоніту. Початкова концентрація олеїнової кислоти – 4,3 мас. %

Температура, К	Кількість адсорбованої в стані рівноваги олеїнової кислоти, мг/г катіоніту					
	Повітряно-сухий катіоніт, мас. %			Попередньо висушений катіоніт, мас. %		
	2	4	6	2	4	6
303	129,1	125,8	122,9	147,7	143,9	141,0
323	244,8	243,1	232,2	258,7	240,1	222,8
343	260,0	247,2	238,1	305,2	283,4	267,5

Отримані кінетичні криві адсорбції обробляли з використанням рівнянь адсорбції Ленгмюра, Фрейндліха та Дубініна-Радушкевича.

Розраховані з рівняння Ленгмюра [11] за значеннями початкової концентрації олеїнової кислоти в розчині C_0 і константи Ленгмюра значення величини K_L знаходяться в межах 0,0011–0,0034 для повітряно-сухого і 0,0006–0,0016 для попередньо висушеного катіоніту (табл. 2). Отримані значення K_L дають змогу стверджувати, що рівняння Ленгмюра задовільно описує адсорбцію олеїнової кислоти на катіоніті КУ-2-8.

Для встановлення механізму адсорбції отримані кінетичні криві спрямляли в координатах рівняння Фрейндліха [11]. Отримані значення константи ізотерми адсорбції Фрейндліха n знаходяться в межах 2,73 – 5,72 для повітряно-сухого і 1,84 – 3,48 для попередньо висушеного адсорбенту (табл. 3), що свідчить про перебіг адсорбції олеїнової кислоти за механізмом фізичної адсорбції. Значення константи ізотерми адсорбції K_F при використанні повітряно-сухого і попередньо висушеного катіоніту КУ-2-8 змінюється різнонаправлено, що може бути зумовлено присутністю значної кількості води у складі повітряно-сухого катіоніту та її впливом на олеофобність поверхні катіоніту.

Таблиця 2

Залежність значення K_L і константи Ленгмюра b від температури адсорбції олеїнової кислоти з розчину.

Початкова концентрація олеїнової кислоти – 49,2 мг/г розчину, вміст КУ-2-8 в розчині – 2–6 мас. %

Температура, К	Константа Ленгмюра, b , г/мг	K_L	Константа Ленгмюра, b , г/мг	K_L
	Повітряно-сухий катіоніт		Попередньо висушений катіоніт	
303	20,76	0,0011	14,38	0,0016
323	6,91	0,0034	37,95	0,0006
343	11,86	0,0020	16,09	0,0014

Таблиця 3

Залежність значення констант ізотерми адсорбції Фрейндліха від температури адсорбції олеїнової кислоти.

Початкова концентрація олеїнової кислоти – 49,2 мг/г розчину, вміст КУ-2-8 в розчині – 2–6 мас. %

Температура, К	n	k_F	n	k_F
	Повітряно-сухий катіоніт		Попередньо висушений катіоніт	
303	2,73	34,2	3,48	51,2
323	5,72	130,9	1,84	36,5
343	3,64	95,9	2,79	84,0

Розраховані за рівнянням адсорбції Дубініна-Радушкевича значення енергії адсорбції заходять ся в межах 5,7–7,8 кДж/моль для повітряно-сухого і 5,1–6,8 кДж/моль для попередньо висушеного адсорбенту. Оскільки енергія адсорбції є меншою за 8 кДж/моль, можна стверджувати, що в обох випадках відбувається фізична адсорбція олеїнової кислоти з розчину.

Розраховані в дослідженому інтервалі температури значення термодинамічних характеристик процесу адсорбції олеїнової кислоти на повітряно-сухому та попередньо висушеному катіоніті КУ-2-8 наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Термодинамічні характеристики процесу адсорбції олеїнової кислоти в інтервалі температур 303–343 К.

Початкова концентрація олеїнової кислоти – 49,2 мг/г розчину, вміст КУ-2-8 в розчині – 2–6 мас. %

Температура, К	Константа рівноваги адсорбції K	Вільна енергія Гіббса ΔG° , кДж/моль	Ентальпія адсорбції ΔH° , кДж/моль	Ентропія адсорбції ΔS° , Дж/(моль · К)
повітряно-сухий катіоніт КУ-2-8				
303	6,4	–4,7	20,5	84,1
323	16,2	–7,5		
343	16,3	–8,0		
Попередньо висушений катіоніт КУ-2-8				
303	8,1	–5,3	17,3	74,4
323	11,8	–6,6		
343	18,1	–8,3		

З врахуванням від'ємних значень вільної енергії Гіббса та додатних значень ентропії адсорбції (табл. 4) можна стверджувати, що адсорбція олеїнової кислоти як на повітряно-сухому, так і на попередньо висушеному катіоніті КУ-2-8 відбувається спонтанно. Отримані значення термодинамічних характеристик добре корелюють із літературними даними, отриманими при дослідженні адсорбції вільних жирних кислот із олії на адсорбентах різного виду [11–13].

Висновки.

1. Результати досліджень адсорбції олеїнової кислоти на катіоніті КУ-2-8 показують, що збільшення вмісту адсорбента закономірно підвищує ступінь вилучення кислоти з розчину.

2. Встановлено, що попереднє висушування аніоніту дає змогу скоротити час досягнення рівноважної концентрації олеїнової кислоти в розчині та підвищити ступінь її адсорбції. Такі результати, очевидно, зумовлені вищою олеофобністю поверхні повітряно-сухого катіоніту за рахунок високого вмісту вологи.

3. Аналіз отриманих результатів із використанням моделей адсорбції Ленгмюра, Фрейндліха та Дубініна-Радушкевича показав, що адсорбція олеїнової кислоти на катіоніті КУ-2-8 є фізичною та спонтанною. Про це свідчить значення середньої енергії адсорбції, яка є меншою за 8 кДж/моль, і становить 5,2–7,8 кДж/моль, та від'ємні значення вільної енергії Гіббса і додатні значення ентропії адсорбції олеїнової кислоти.

Література

1. Haigh, K.F., Abidin, S.Z., Saha, B., Vladislavljević, G.T. (2012). Pretreatment of Used Cooking Oil for the Preparation of Biodiesel Using Heterogeneous Catalysis. In: Starov, V., Griffiths, P. (eds) UK Colloids 2011.

Progress in Colloid and Polymer Science, vol 139. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28974-3_4

2. Javidialesaadi, A., Raeissi, S. (2013). Biodiesel Production from High Free Fatty Acid-Content Oils: Experimental Investigation of the Pretreatment Step. *APCBEE Procedia*, 5, 474–478. doi:10.1016/j.apcbee.2013.05.080.
3. Khedkar, M. A., Satpute, S. R., Bankar, S. B., Chavan, P. V. (2020). Adsorptive Removal of Unsaturated Fatty Acids Using Ion Exchange Resins. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 66(1), 308–321, doi:10.1021/acs.jced.0c00700.
4. Cardoso, A., Neves, S., & Da Silva, M. (2008). Esterification of Oleic Acid for Biodiesel Production Catalyzed by SnCl₂: A Kinetic Investigation. *Energies*, 1(2), 79–92. doi:10.3390/en1020079.
5. Canakci, M., Van Gerpen J. (2001). Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. *Transactions of the ASAE*, 44(6),1429–1436. doi: 10.13031/2013.7010.
6. Kumar, T. V. V., Prabhakar, S., & Raju, G. B. (2002). Adsorption of Oleic Acid at Sillimanite/Water Interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 247(2), 275–281. doi:10.1006/jcis.2001.8131.
7. Vadi, M., Maleki, A. (2011). Adsorption Isotherms of Oleic Acid on Carbon Nanotube. *Asian Journal of Chemistry*. 23(8). 3643-3646.
8. Abdul Manas, N.H., Kumar, N.K.M.F., Mohd Shah, N.A., Ling, G.Y., Azelee, N.I.W., Fuzi, S.F.Z.M., Masngut, N., Bunyamin, M.A.H., Illias, R.M., El Enshasy, H.A. (2023). Adsorption of Fatty Acid on Beta-Cyclodextrin Functionalized Cellulose Nanofiber. *Sustainability*. 15. 1559. doi:10.3390/su15021559.
9. Muhammad, M., Iqbal, K., Annisa, C., Ashish, S., Govinda, P. (2023). Use of Bentonite Adsorbent from Ujong Pacu for the Adsorption Free Fatty Acids from Crude Palm Oil. *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*. 3. 76. doi:10.29103/jreece.v3i2.12479.
10. Biocyclopedia.com. Plant Lab Protocols / Methodology for Lipids. Estimation of free fatty acids. Retrieved January 04, 2025, from https://biocyclopedia.com/index/plant_protocols/lipids/Estimation_of_free_fatty_acids.php.
- 11 Melnyk, Yu., Chernichenko, O., Melnyk, S., Mahorivska, H. (2024). Adsorption of oleic acid on AV-17-8 anion exchange resin. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 2024, 6, 4–10. doi:10.32434/0321-4095-2024-157-6-4-10.
12. Ilgen, O., Dulger, H. S. (2015). Removal of oleic acid from sunflower oil on zeolite 13X: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *Industrial Crops and Products*, 81, 66–71. doi:10.1016/j.indcrop.2015.11.050.
13. Ilgen, O., Tümkor, E. (2023). Kinetics, Equilibrium and Thermodynamic Studies on Removal of Oleic Acid from Sunflower Oil onto Amberlyst A21. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 67(3), 407–415. doi:10.3311/PPCh.21743.

References

1. Haigh, K.F., Abidin, S.Z., Saha, B., Vladislavljević, G.T. (2012). Pretreatment of Used Cooking Oil for the Preparation of Biodiesel Using Heterogeneous Catalysis. In: Starov, V., Griffiths, P. (eds) UK Colloids 2011. *Progress in Colloid and Polymer Science*, vol 139. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28974-3_4
2. Javidialesaadi, A., Raeissi, S. (2013). Biodiesel Production from High Free Fatty Acid-Content Oils: Experimental Investigation of the Pretreatment Step. *APCBEE Procedia*, 5, 474–478. doi:10.1016/j.apcbee.2013.05.080.
3. Khedkar, M. A., Satpute, S. R., Bankar, S. B., Chavan, P. V. (2020). Adsorptive Removal of Unsaturated Fatty Acids Using Ion Exchange Resins. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 66(1), 308–321, doi:10.1021/acs.jced.0c00700.
4. Cardoso, A., Neves, S., & Da Silva, M. (2008). Esterification of Oleic Acid for Biodiesel Production Catalyzed by SnCl₂: A Kinetic Investigation. *Energies*, 1(2), 79–92. doi:10.3390/en1020079.
5. Canakci, M., Van Gerpen J. (2001). Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. *Transactions of the ASAE*, 44(6),1429–1436. doi: 10.13031/2013.7010.
6. Kumar, T. V. V., Prabhakar, S., & Raju, G. B. (2002). Adsorption of Oleic Acid at Sillimanite/Water Interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 247(2), 275–281. doi:10.1006/jcis.2001.8131.
7. Vadi, M., Maleki, A. (2011). Adsorption Isotherms of Oleic Acid on Carbon Nanotube. *Asian Journal of Chemistry*. 23(8). 3643-3646.
8. Abdul Manas, N.H., Kumar, N.K.M.F., Mohd Shah, N.A., Ling, G.Y., Azelee, N.I.W., Fuzi, S.F.Z.M., Masngut, N., Bunyamin, M.A.H., Illias, R.M., El Enshasy, H.A. (2023). Adsorption of Fatty Acid on Beta-Cyclodextrin Functionalized Cellulose Nanofiber. *Sustainability*. 15. 1559. doi:10.3390/su15021559.
9. Muhammad, M., Iqbal, K., Annisa, C., Ashish, S., Govinda, P. (2023). Use of Bentonite Adsorbent from Ujong Pacu for the Adsorption Free Fatty Acids from Crude Palm Oil. *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*. 3. 76. doi:10.29103/jreece.v3i2.12479.
10. Biocyclopedia.com. Plant Lab Protocols / Methodology for Lipids. Estimation of free fatty acids. Retrieved January 04, 2025, from https://biocyclopedia.com/index/plant_protocols/lipids/Estimation_of_free_fatty_acids.php.
- 11 Melnyk, Yu., Chernichenko, O., Melnyk, S., Mahorivska, H. (2024). Adsorption of oleic acid on AV-17-8 anion exchange resin. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 2024, 6, 4–10. doi:10.32434/0321-4095-2024-157-6-4-10.

12. Ilgen, O., Dulger, H. S. (2015). Removal of oleic acid from sunflower oil on zeolite 13X: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *Industrial Crops and Products*, 81, 66–71. doi:10.1016/j.indcrop.2015.11.050.
13. Ilgen, O., Tümkor, E. (2023). Kinetics, Equilibrium and Thermodynamic Studies on Removal of Oleic Acid from Sunflower Oil onto Amberlyst A21. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 67(3), 407–415. doi:10.3311/PPCh.21743.

The regularities of oleic acid adsorption from its solution in sunflower oil on the cation exchange resin KU-2-8 have been investigated. It was found that when using a pre-dried adsorbent, the equilibrium concentration of oleic acid in a sunflower oil solution is reached in 60-90 min. The presence of moisture in the cation exchange resin (with an air-dry moisture content of 15.9%) increases the time required to reach the equilibrium concentration of oleic acid. At 303 K, equilibrium is achieved in approximately 60 minutes, whereas at elevated temperatures of 323 K and 343 K, the required time extends beyond 120 minutes. It was found that with an increase in the adsorption temperature from 303 to 323 K, an increase in the amount of adsorbed acid per unit mass of the adsorbent was observed. A further increase in temperature to 343 K leads to a slight increase in the amount of adsorbed oleic acid during adsorption on air-dry cation exchange resin (by about 6 %) and a noticeable increase in the amount of adsorbed oleic acid on the pre-dried adsorbent. It was found that an increase in the adsorbent content in solution from 2 to 6 wt. % leads to a slight decrease in the amount of oleic acid adsorbed per unit mass of cation exchange resin. The results of oleic acid adsorption on cation exchange resin were analyzed using the Langmuir, Freundlich, and Dubinin-Ryadushkevich adsorption equations. Based on the results of the Freundlich equation analysis, it was found that the adsorption of oleic acid on cation exchange resin occurs by the mechanism of physical adsorption. The adsorption energy calculated by the Dubinin-Radushkevich equation, which is 5.7-7.8 kJ/mol for air-dry and 5.1-6.8 kJ/mol for pre-dried cation exchange resin, also confirms this conclusion. Based on the negative values of the Gibbs free energy and the positive values of the adsorption entropy, it was concluded that the adsorption of oleic acid proceeded spontaneously both on air-dry and pre-dried cation exchange resin KU-2-8.

Keywords: adsorption, oleic acid, cation exchange resin KU-2-8, Langmuir model, Freundlich model, Dubinin-Radushkevich model.

Мельник Ю.Р. – д.т.н., доцент кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»

Черніченко О.М. – аспірант кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»

Мельник С.Р. – д.т.н., професор кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»

Магорівська Г.Я. – к.т.н., доцент кафедри хімічної технології силікатів, Національний університет «Львівська політехніка»