

УДК 66.095.833+66.095.132+544.473

doi: 10.20998/2413-4295.2025.01.09

НЕКАТАЛІТИЧНА І КАТАЛІТИЧНА ВЗАЄМОДІЯ МОНОЕТАНОАМІНУ ТА
2-ЕТИЛГЕКСАНОВОЇ КИСЛОТИ

Н. О. ЗАХАРКО, С. Р. МЕЛЬНИК*

кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, УКРАЇНА
*e-mail: stepan.r.melnyk@lpnu.ua

АНОТАЦІЯ Алканоламіди й аміноестери одержують взаємодією карбонових кислот, їх естерів чи хлорангідридів з етаноламінами за відсутності та за умови каталізу реакції гомогенними, гетерогенними каталізаторами і ферментами. Досліджено закономірності некаталітичної та каталізованої гомогенними і гетерогенними кислотами й основами взаємодії між моноетаноламіном і 2-етилгексановою кислотою. Для каталізу реакцій в нестационарних умовах використовували *p*-толуенсульфонову кислоту, гідроксид калію, *H*-катіоніт КУ-2-8 і ОН-аніоніт АВ-17-8. Контроль за перебігом реакції здійснювали за кількістю утвореної води, встановленою хроматографічним аналізом, і аміним числом продуктів реакції, визначеним потенціометричним титруванням, відповідно. Встановлено, що змішування моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти супроводжується виділенням значної кількості теплоти очевидно внаслідок реакції з утворенням етаноламонієвої солі. Гомогенні каталізатори, на відміну від іонообмінних смол, суттєво прискорюють її розпад. Зокрема за відсутності каталізатора, практично еквівалентного співвідношення реагентів і температури реакції 150–155 °С за 80 хв реакції ступінь перетворення 2-етилгексанової кислоти становить 15 %, у присутності *p*-толуенсульфонової кислоти – 30 %, гідроксиду калію – 22 %, катіоніту КУ-2-8 – 16 %, аніоніту АВ-17-8 – 18 %, відповідно. Встановлено, що основним продуктом реакції між моноетаноламіном і 2-етилгексановою кислотою є 2-(*N*-гідроксietил)-2-етилгексаноатамід. Порівняння кількості виділеної води і зміни амінного числа вказує на незначний перебіг естерифікації 2-етилгексанової кислоти моноетаноламіном за умови каталізу реакції *p*-толуенсульфоновою кислотою, гідроксидом калію й аніонітом АВ-17-8.

Ключові слова: моноетаноламін; 2-етилгексанова кислота; амідування; естерифікація; кислотно-основний каталіз; іонообмінні смоли.

THE NON-CATALYTIC AND CATALYTIC INTERACTION OF ETHANOLAMINE AND
2-ETHYLHEXANOIC ACID

N. ZAKHARKO, S. MELNYK

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

ABSTRACT Alkanolamides and aminoesters are obtained by interacting carboxylic acids, their esters, or carboxylic acids chloranhydrides with ethanolamines. Non-catalytical conditions and catalysis by homogeneous and heterogeneous catalysts and enzymes are used. The regularities of non-catalytic and catalyzed by homogeneous and heterogeneous acids and bases interaction between ethanolamine and 2-ethylhexanoic acid have been studied. *p*-Toluenesulfonic acid, potassium hydroxide, *H*-cation exchange resin KU-2-8, and OH-anion exchange resin AV-17-8 were used for the catalysis of reactions in non-stationary conditions. Control of the reaction was carried out by the amount of water formed, determined by chromatographic analysis, and the amine number of the reaction products, determined by potentiometric titration, respectively. It was established that the mixing of monoethanolamine and 2-ethylhexanoic acid is accompanied by the release of a significant amount of heat, apparently due to the reaction of an ethanol ammonium salt formation. Homogeneous catalysts, unlike ion-exchange resins, significantly accelerate its disintegration. Particularly, by an almost equivalent ratio of reagents and a temperature of 150–155 °C in 80 min the conversion of 2-ethylhexanoic acid in the non-catalytic reaction is 15 %, and in reaction catalyzed by *p*-toluenesulfonic acid, potassium hydroxide, *H*-cation exchange resin, and OH-anion exchange resin is 30, 22, 14, and 18 %, respectively. It was established that the main product of the interaction between ethanolamine and 2-ethylhexanoic acid is 2-(*N*-hydroxyethyl)-2-ethylhexanamide. A comparison of the amount of water released and the change in the amine number also indicates the esterification of 2-ethylhexanoic acid with methanolamine catalyzed by *p*-toluenesulfonic acid, potassium hydroxide, and OH-anion exchange resin.

Keywords: ethanolamine; 2-ethylhexanoic acid; amidation; esterification; acid-base catalysis; ion exchange resins.

Вступ

Алканоламіди жирних кислот є компонентами побутових продуктів, фармацевтичних і косметичних виробів тощо. Вони також виявляють властивості неіоногенних поверхнево-активних речовин, які стабілізують піну, підвищують в'язкість та діють як емульгатори [1,2].

Фізико-хімічні властивості алканоламідів змінюються залежно від довжини вуглецевого ланцюга жирної кислоти, що суттєво розширює сферу їх застосування [3,4].

Алканоламіди одержують взаємодією карбонових кислот, їх естерів чи хлорангідридів кислот з етаноламінами як за відсутності, так і в присутності каталізатора. Застосування кожного виду

карбоксильних реагентів має як переваги, так і недоліки.

Найпоширеніший спосіб одержання алканоламідів – аміноліз естерів жирних кислот та олій алканоламінами. Використання як реагентів естерів вимагає їх попереднього синтезу, а амінолізом олій одержують як правило суміш алканоламідів та аміноестерів і естерамідів як побічних продуктів реакції.

Застосування кислот є менш популярним, але здешевлює процес одержання алканоламідів аліфатичних кислот із невисокою молекулярною масою завдяки зменшенню стадійності виробництва і виключенню необхідності синтезу естерів. Хоча хлорангідриди з-поміж інших карбоксильних сполук є найактивнішими в реакції з алканоламінами, їхня висока вартість і певна агресивність вказують на меншу перспективність їх застосування як реагентів.

Взаємодія між карбоксильними сполуками і алканоламінами відбувається як за відсутності, так і за умови каталізу реакції. Зокрема під час некаталітичної взаємодії між пентилацетатом і моноетаноламіном вихід основного продукту реакції N-(2-гідроксиетил)ацетаміду досягає 68,9 % за 180 хв реакції [5].

Некаталітичний синтез алканоламіду амідуюванням дистилату жирної кислоти пальмової олії моноетаноламіном під дією мікрохвильового опромінення згідно результатів авторів роботи [6] забезпечує практично повну конверсію кислоти (98,89 %) за молярного співвідношення дистилату до моноетаноламіну 1:1, часу реакції 18,5 хв і потужності мікрохвиль 100 %. Водночас, питання технологічного застосування цього способу одержання алканоламіду залишається відкритим.

Для підвищення економічної ефективності процесу прямого амідуювання вільних жирних кислот час реакції зменшують використанням каталізаторів. Застосування каталізаторів може також підвищити селективність утворення алканоламідів. Зокрема це відомо для реакції одержання стеароїлетаноламіду каталітичним амідуюванням стеаринової кислоти моноетаноламіном у гексані [7].

Для інтенсифікації реакцій амідуювання, амінолізу та естерифікації карбонільних сполук алканоламінами застосовують гомогенні, гетерогенні та біологічні каталізatori (ферменти) [8–11]. Ці каталізatori мають як переваги, так і недоліки, а їхнє застосування залежить від використовуваної сировини.

Зокрема, високий вихід і чистота алканоламіду досягаються під час взаємодії метилових естерів вищих жирних кислот з етаноламінами в присутності алколятів лужних металів та гідроксидів за температури 90–150 °C, 1–6 год часу реакції та мольного співвідношення етаноламін : естер – 1 : 1,3 [12].

Застосування метоксиду натрію для інтенсифікації амінолізу метиллінолеату моно-

діетаноламінами за температури 30 °C забезпечує вихід аміду 97,2 % за 90 хв реакції [13].

Гомогенний кислотний каталізатор – *n*-толуенсульфонову кислоту, застосовують для інтенсифікації взаємодії етаноламіну і двоосновних кислот [14].

Гетерогенні каталізatori реакцій амінолізу є менш активними в реакціях одержання алканоламідів. Зокрема, конверсія метилового естеру пальмітинової кислоти під час його взаємодії з етаноламіном у присутності цеоліту H-Beta-22 становить лише 17 % за температури 180 °C за 3 год реакції [15]. Водночас, під час застосування цього каталізатора в реакції амідуювання етаноламіном пальмітинової кислоти забезпечує її конверсію 87 %.

Загалом застосування гетерогенних каталізаторів може бути альтернативним методом одержання алканоламідів: вони є екологічно чистими, не змішуються з продуктами реакції, їх легко відокремити та можна повторно використати. Амідуювання жирних кислот вимагає температури 120–180 °C. За температури 120 °C досягнуто 35 % виходу аміду після 4-х год реакції у присутності каталізатора ZSM-5 [16].

У присутності заліза (III) оксиду, нанесеного на різних носіях у реакції стеаринової кислоти і моноетаноламіну конверсія кислоти становить 17 % за 1 год перетворення за температури 120 °C. Модифікування каталізатора на носії Ferrierite-20-SSIE реакції дає змогу забезпечити конверсію стеаринової кислоти 61 % за той самий час і дещо вищої температури (140 °C) реакції [17].

Застосування ферментів (препаратів ліпази) як біологічних каталізаторів взаємодії карбоксильних сполук належить до «зеленої хімії». Такі каталізatori застосовують у реакціях між алканоламінами і як естерами, так і кислотами.

Зокрема в присутності ферментного препарату Lipozyme 435 в реакції між етаноламіном і стиловим естером ейкозапентаїнової кислоти вихід етаноламіду становить 62,3 % за температури 40–70 °C, часу реакції 1–2 год і співвідношення естер : аміноспирт – 2 : 3 [18].

Синтез у гексані ненасичених N-ацил-етаноламідів з виходом від 80 до 88 % але за значної тривалості (6–15 год) із ненасичених жирних кислот та етаноламіну каталізує ліпаза B *Candida antarctica* за температури 40 °C [19].

Недоліками застосування ферментів (ліпаз) як каталізаторів амідуювання карбонових кислот алканоламінами є значна тривалість процесу і відносно висока вартість ензимів. Використання ферментативного каталізу амідуювання карбонових кислот чи амінолізу естерів алканоламінами часто вимагає застосування розчинника, що впливає на екологічність процесу. Ліпази також термічно не дуже стабільні, насамперед в процесі амідуювання довгих вуглецевих ланцюгів жирних кислот із високими температурами плавлення [3].

Із врахуванням вищевказаного, дослідження як впливу різних реагентів, так і каталізаторів на технологічні показники процесу одержання алканоламідів суттєво доповняють відомості про закономірності перебігу реакцій між карбоксильними сполуками і алканоамінами та дадуть змогу розширити асортимент цінних органічних речовин.

Мета роботи

Метою роботи було порівняти закономірності некаталітичної та каталізованої гомогенними і гетерогенними кислотами й основами Бренстеда-Лоурі взаємодії моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти в нестационарних умовах.

Виклад основного матеріалу

Як реагенти використовували моноетаноламін (97 %, марка ч.) і 2-етилгексанову кислоту (99 %, Thermo Fisher Scientific). Як каталізатори використовували *n*-толуенсульфонову кислоту (*n*TСК) і гідроксид калію (обоє – марка ч.), катіоніт КУ-2-8 (ГОСТ 20298-74) і аніоніт АВ-17-8 (ГОСТ 20301-74).

Визначене аміне число моноетаноламіну (ЕА) становило 568±15 мг НСІ/г, а кислотне число 2-етилгексанової кислоти (ЕГК) – 382±5 мг КОН/г. ПСОЕ катіоніту КУ-2-8 у Н-формі становило 3,7±0,2 мг/г, аніоніту АВ-17-8 в ОН-формі – 4,1±0,2 мг/г. Вміст води в моноетаноламіні становив 2,3±0,2 %. Вологість катіоніту КУ-2-8 становила 19,8±0,5 %, а аніоніту АВ-17-8 – 17,5±0,4 %.

Закономірності взаємодії моноетаноламіну з 2-етилгексановою кислотою досліджено в нестационарних умовах. Реакційна установка складалася з бані з силіконовою оливою, круглодонної колби-реактора, пастки Діна-Старка і зворотного холодильника. Реакційне середовище перемішували магнітною мішалкою з частотою обертання 400 хв⁻¹. Температура реакції становила 155±1 °С, а її тривалість – 80 хв.

Після завершення реакції визначали кислотне й аміне число реакційної суміші з використанням кондуктометра ELWRO PRL T N5721M.

Вміст у продуктах реакції утвореної води визначали з використанням хроматографа ЛХМ-80. Для аналізу використовували сталеву колонку, заповнену нерухомою фазою Полісорб-1. Температура становила: колонки – 130 °С; детектора – 220 °С; випарника – 230 °С. Для зменшення в'язкості аналізований зразок розбавляли ізоаміловим спиртом (марка ч.).

Вплив каталізатора на взаємодію моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти досліджено за мольного співвідношення ЕА : ЕГК – 1 : (1,05–1,12). Концентрація каталізатора становила 5,5·10⁻³ моль/дм³. Для перерахунку вмісту іонів Н⁺ та ОН⁻ в іонітах на молярну концентрацію під час

дозування цих каталізаторів на реакцію використовували значення їх ПСОЕ.

Показники продуктів взаємодії моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти в некаталітичній реакції та в присутності гомогенних і гетерогенних кислотних і основних каталізаторів наведені в табл. 1.

За вмістом утвореної внаслідок взаємодії моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти води в продуктах реакції з урахуванням вмісту води в моноетаноламіні та іонітах, які брали на реакцію, розраховували конверсію 2-етилгексанової кислоти (табл. 2).

Таблиця 1 – Вплив каталізатора на кислотне й аміне число та вміст води в продуктах взаємодії моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти. Тривалість реакції – 80 хв, С(каталізатора) = 5,5·10⁻³ моль/дм³

Каталізатор	КЧ, мг КОН/г	АЧ, мг НСІ/г	Вміст води, мас. %
–	38,3	142	1,6
<i>n</i> TСК	25,7	123	2,9
КОН	37,5	138	2,2
КУ-2-8	45,9	131	1,9
АВ-17-8	23,2	142	1,9

Таблиця 2 – Показники взаємодії моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти в присутності різних каталізаторів. Тривалість реакції – 80 хв, С(каталізатора) = 5,5·10⁻³ моль/дм³

Каталізатор	Конверсія ЕГК, %	Утворена вода, моль	Різниця між початковою кількістю речовини ЕА й АЧ продуктів реакції, моль	Відносна похибка, %	Можливий перебіг естерифікації
–	15	0,048	0,050	3,9	–
<i>n</i> TСК	30	0,096	0,074	-22,7	+
КОН	22	0,071	0,047	-33,9	+
КУ-2-8	16	0,052	0,053	1,8	–
АВ-17-8	18	0,055	0,045	-18,8	+

За порівнянням кількості речовини прореагованого моноетаноламіну, встановленої за різницею між кількістю речовини моноетаноламіну, взятого на реакцію, й амінного числа продуктів реакції (вираженому у моль), та утвореної води зроблено припущення про можливість перебігу поряд з амідуванням реакції естерифікації під час взаємодії моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти за відсутності та в присутності вказаних каталізаторів (табл. 2).

Обговорення результатів

Використання кондуктометричного титрування реакційної суміші продуктів взаємодії моноетанол-аміну і 2-етилгексанової кислоти зумовлене наявністю в аналізованій пробі як основи, так і кислоти як реагентів.

Як видно з табл. 1 і 2, такий прийом дає змогу ефективно визначити аміне число продуктів реакції, яке корелює з кількістю утвореної води, проте титрування гідроксидом натрію зразка реакційної суміші з подальшим розрахунком її кислотного числа вказує на дуже низьке значення залишкового вмісту 2-етилгексанової кислоти, що однозначно не відповідає її ступеню перетворення в реакціях.

Під час змішування на початку взаємодії моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти утворюється амонієва сіль, що підтверджує виділення значної кількості теплоти і розігрівання реакційної суміші, і лише незначна кількість кислоти залишається в незв'язаному стані, що зумовлено 5–12%-м її надлишком (залежно від дозування на реакцію).

Очевидно, що під час титрування луг не витісняє моноетаноламін із солі, а отже взаємодіє лише з вільною 2-етилгексановою кислотою. Тому контроль взаємодії моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти можна вести лише за зміною амінного числа реакційної суміші.

Водночас визначає кількість прореагованої 2-етилгексанової кислоти, Оскільки моноетаноламін може реагувати з 2-етилгексановою кислотою (яка була в нестачі) за обома функціональними групами з утворенням як амідів, так і естерів, то конверсію реагентів розраховували у перерахунку на кислоту.

Конверсію 2-етилгексанової кислоти розраховували за кількістю утвореної під час реакції води (табл. 1) із врахуванням, що незначну її кількість вносили в реакційну систему з моноетаноламіном, моногідратом *n*-толуенсульфонової кислоти та іонітами. За час реакції 80 хв за температури 155–156 °С, мольного співвідношення EA : ЕГК – 1 : (1,05–1,12) у некаталітичному процесі та за концентрації каталізатора, еквівалентній $5,5 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³, досягнуто конверсії 2-етилгексанової кислоти від 15 до 30 % (табл. 2).

Необхідно зазначити, що відділення води з реакційної суміші та її накопичення в пастці Діна-Старка за умов реакції практично не відбувалося, за винятком реакції в присутності аніоніту АВ-17-8, за якої відділилося 17 % від наявної в реакційній системі та утвореної води.

У роботі [13] акцентовано, що моноетаноламін утворює інтра- та інтермолекулярні водневі зв'язки, які очевидно, також виникають між його молекулами та молекулами води, що перешкоджає її ефективному вилученню з суміші під час взаємодії аміноспирту і 2-етилгексанової кислоти за умов реакції.

Одержані результати вказують на те, що за однакової концентрації іонів H^+ і OH^- (зокрема й у перерахунку їх вмісту в іонітах на молярну концентрацію у реакційному розчині) гомогенні каталізatori виявляють вищу активність порівняно з гетерогенними під час взаємодії моноетаноламіну з 2-етилгексановою кислотою (табл. 2).

Зокрема, за умов реакції в некаталітичному процесі конверсія 2-етилгексанової кислоти становить 15 %, за умови каталізу Н-катіонітом і ОН-аніонітом – 16 і 18 %, відповідно, а в присутності *n*-толуенсульфонової кислоти і гідроксиду калію – 30 і 22 %, відповідно.

Під час взаємодії моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти можуть відбуватися реакції утворення амонієвої солі, амідоспирту – 2-(*N*-гідроксіетил)-2-етилгексаноатаміду, естераміну – 2-аміноетил-2-етилетаноату, й естераміду – 2-(2-етилгексиламіно)етилацетату. Останні три продукти утворюються за реакціями амідкування й естерифікації з утворенням води як побічного продукту.

Різниця між кількістю речовини утвореної води та зміною амінного числа реакційної суміші, перерахованою на кількість речовини, дає змогу оцінити можливий перебіг реакції естерифікації. Зокрема, якщо кількість речовини утвореної води є більшою, ніж зміна амінного числа, виражена в моль, то очевидно, що частина води утворюється внаслідок перетворення моноетаноламіну і 2-етилгексанової кислоти на 2-аміноетил-2-етилетаноат чи 2-(2-етилгексиламіно)етилацетат.

З табл. 2 очевидно, що кількість утвореної в присутності каталізаторів *n*-толуенсульфонової кислоти, гідроксиду калію та ОН-аніоніту води є більшою за кількість прореагованого моноетаноламіну з утворенням амідів. Це вказує на перебіг поряд з амідкуванням реакції естерифікації й утворення естерів.

Висновки

Отримані результати дають змогу зробити висновок про вищу ефективність застосування гомогенних каталізаторів, насамперед *n*-толуенсульфонової кислоти в реакціях між моноетаноламіном і 2-етилгексановою кислотою.

Показано, що основним продуктом цих перетворень є 2-(*N*-гідроксіетил)-2-етилгексаноат-амід.

Встановлено також, що *n*-толуенсульфонева кислота, гідроксид калію та ОН-аніоніт поряд із реакцією амідкування сприяють перебігу реакції естерифікації.

Список літератури

1. Adewuyi A., Oderinde R. A., Rao B. V. S. K., Prasad R. B. N. Synthesis of Alkanolamide: a Nonionic Surfactant from the Oil of *Gliricidia sepium*. *J. Surfactants Deterg.* 2012. № 15 (1). P. 89–96. doi: 10.1007/s11743-011-1285-0.

2. Masyithah Z., Yudhika S. R., Simanjuntak L., Ginting A. Optimization of alkyl-diethanolamide synthesis from fatty acid methyl ester of coconut oil using box-behnken design. *Rasāyan J. Chem.* 2019. № 12(2). P. 733–740. doi: 10.31788/RJC.2019.1225116.
3. Wang X., Han Z., Chen Y., Jin Q., Wang X. Scalable synthesis of oleoyl ethanolamide by chemical amidation in a mixed solvent. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2016. № 93(1). P. 125–131. doi: 10.1007/s11746-015-2749-6.
4. Wahyuningsih T. D., Kurniawan Y. S., Amalia S., Wardhani T. A. K., Muriningsih C. E. S. Diethanolamide derivatives as a potential enhanced oil recovery agent from indonesian castor oil and used frying oil: isolation, synthesis, and evaluation as nonionic biosurfactants. *Rasāyan J. Chem.* 2019. № 12 (2). P. 741–748. doi: 10.31788/RJC.2019.1225140.
5. Melnyk S., Danyliuk R., Melnyk Yu., Stadnytska N. Study of the Pentyl Acetate and Ethanolamine Catalytic and Non-Catalytic Interaction. *J. Chem Technol. Metall.* 2022. № 57 (3). P. 439–450.
6. Ginting B. S., Ginting A., Sitepu E. K., Tarigan J. Br. Non-catalytic synthesis of fatty acid alkanolamides from palm fatty acid distillate and monoethanolamine under microwave irradiation. *Rasāyan J. Chem.* 2023. № 16(1). P. 391–397. doi: 10.31788/RJC.2023.1618188.
7. Mäki-Arvela P., Tkachevs A., Dosmagambetova I., Chapelliere Y., Hachemi I., Kumar N., Aho A., Murzin D. Yu. Thermal and Catalytic Amidation of Stearic Acid with Ethanolamine for Production of Pharmaceuticals and Surfactants. *Top. Catal.* 2016. № 59 (13–14). P. 1151–1164. doi: 10.1007/s11244-016-0636-5.
8. Melnyk S. R., Danyliuk R. V., Melnyk Yu. R. Ethanolamine and pentyl acetate interaction catalyzed by cation exchange resin: kinetic insight. *J. Chem. Technol.* 2023. № 31 (1), P. 167–177. doi: 10.15421/jchemtech.v31i1.267433.
9. Melnyk S., Melnyk Yu., Mahorivska H., Fuchyla O. Kinetic aspects of catalytic interactions involving pentyl acetate and ethanolamine. *Chem. Chem. Technol.* 2023. № 17(4). P. 820–828. doi: 10.23939/chcht17.04.82.
10. Данилюк Р. В., Мельник С. Р. Вплив каталізаторів на реакції між три- і діетаноламидами та етилолеатом. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ».* Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2022. № 4 (14). С. 65–69. doi: 10.20998/2413-4295.2022.04.10.
11. Wang X., Wang X., Wang T. Enrichment of arachidonic acid for the enzymatic synthesis of arachidonoyl ethanolamide. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2013. № 90. P. 1031–1039. doi: 10.1007/s11746-013-2247-7.
12. Ohshima Y., Imoto H., Fujiu A. Process for the production of high purity alkanolamide (Verfahren zur Herstellung von hochreinem Alkanolamid). *Patent German* No DE19648513. 1997.
13. Wang X., Chen Y., Jin Q., Huang J., Wang X. Synthesis of Linoleoyl Ethanolamide. *J. Oleo Sci.* 2013. № 62(6). P. 427–433. doi: 10.5650/jos.62.427.
14. Patil S. L., Kapadi U. R., Hundiwal D. G., Shaikh V. R. Kinetics of Condensation Reactions between Ethanolamine (Amino-Alcohol) and Dicarboxylic Acids at 413 K. *Int. J. Chem. Kinet.* 2014. № 46 (2). P. 138–142. doi: 10.1002/kin.20837.
15. Tkacheva A., Dosmagambetova I., Chapelliere Y. Pharmaceuticals and Surfactants from Alga-Derived Feedstock: Amidation of Fatty Acids and Their Derivatives with Amino Alcohols. *ChemSusChem.* 2015. № 8(16). P. 2670–2680. doi: 10.1002/cssc.201500526.
16. Musteata M., Dinu V., Florea A., Hoang M., Trong V.-T., Do T.-O., Kaliaguine S., Parvulescu V. I. Acylation of different amino derivatives with fatty acids on UL-MFI-type catalysts. *Pure Appl. Chem.* 2007. № 79 (11). P. 2059–2068. doi: 10.1351/pac200779112059.
17. Mäki-Arvela P., Zhu J., Kumar N., Eränen K., Aho A., Linden J., Salonen J., Peurla M., Mazur A., Matveev V., Murzin D. Yu., Solvent-free “green” amidation of stearic acid for synthesis of biologically active alkylamides over iron supported heterogeneous catalysts. *Appl. Cat. A, General.* 2017. № 542. P. 350–358. doi: 10.1016/j.apcata.2017.06.006.
18. Wang X., Chen Y., Ma Y., Jin Q., Wang X. Lipozyme 435-catalyzed synthesis of eicosapentaenoyl ethanolamide in a solvent-free system. *J. Molec. Cat. B: Enzym.* 2015. № 122. P. 233–239. doi: 10.1016/j.molcatb.2015.09.016.
19. Plastina P., Meijerink J., Vincken J. P., Gruppen H., Witkamp R., Gabriele B. Selective synthesis of unsaturated N-acyl ethanolamines by lipase-catalyzed N-acylation of ethanolamine with unsaturated fatty acids. *Lett. Org. Chem.* 2009. № 6. P. 444–447. doi: 10.2174/157017809789124885.

References (transliterated)

1. Adewale A., Oderinde R. A., Rao B. V. S. K., Prasad R. B. N. Synthesis of Alkanolamide: a Nonionic Surfactant from the Oil of *Gliricidia sepium*. *J. Surfactants Deterg.*, 2012, vol. 15, Iss. 1, pp. 89–96, doi: 10.1007/s11743-011-1285-0.
2. Masyithah Z., Yudhika S. R., Simanjuntak L., Ginting A. Optimization of alkyl-diethanolamide synthesis from fatty acid methyl ester of coconut oil using box-behnken design. *Rasāyan J. Chem.*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 733–740. doi: 10.31788/RJC.2019.1225116.
3. Wang X., Han Z., Chen Y., Jin Q., Wang X. Scalable synthesis of oleoyl ethanolamide by chemical amidation in a mixed solvent. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2016, vol. 93, Iss. 1, pp. 125–131, doi: 10.1007/s11746-015-2749-6.
4. Wahyuningsih T. D., Kurniawan Y. S., Amalia S., Wardhani T. A. K., Muriningsih C. E. S. Diethanolamide derivatives as a potential enhanced oil recovery agent from indonesian castor oil and used frying oil: isolation, synthesis, and evaluation as nonionic biosurfactants. *Rasāyan J. Chem.*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 741–748, doi: 10.31788/RJC.2019.1225140.
5. Melnyk S., Danyliuk R., Melnyk Yu., Stadnytska N. Study of the Pentyl Acetate and Ethanolamine Catalytic and Non-Catalytic Interaction. *J. Chem Technol. Metall.*, 2022, vol. 57, no. 3, pp. 439–450.
6. Ginting B. S., Ginting A., Sitepu E. K., Tarigan J. Br. Non-catalytic synthesis of fatty acid alkanolamides from palm fatty acid distillate and monoethanolamine under microwave irradiation. *Rasāyan J. Chem.*, 2023, vol. 16, no. 1, pp. 391–397, doi: 10.31788/RJC.2023.1618188.
7. Mäki-Arvela P., Tkachevs A., Dosmagambetova I., Chapelliere Y., Hachemi I., Kumar N., Aho A., Murzin D. Yu. Thermal and Catalytic Amidation of Stearic Acid with Ethanolamine for Production of Pharmaceuticals and Surfactants. *Top. Catal.*, 2016, vol. 59, Iss. 13–14, pp. 1151–1164, doi: 10.1007/s11244-016-0636-5.
8. Melnyk S. R., Danyliuk R. V., Melnyk Yu. R. Ethanolamine and pentyl acetate interaction catalyzed by cation exchange resin: kinetic insight. *J. Chem. Technol.*, 2023, vol. 31, no. 1, pp. 167–177, doi: 10.15421/jchemtech.v31i1.267433.
9. Melnyk S., Melnyk Yu., Mahorivska H., Fuchyla O. Kinetic aspects of catalytic interactions involving pentyl acetate and

- ethanolamine. *Chem. Chem. Technol.*, 2023, vol. 17, Iss. 4, pp. 820–828, doi: 10.23939/chcht17.04.82.
10. Danyliuk R. V., Melnyk S. R. The catalysts impact on the tri- and diethanolamine and ethyl oleate interaction. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2022, no 4 (14), pp. 65–69, doi: 10.20998/2413-4295.2022.04.10.
11. Wang X, Wang X., Wang T. Enrichment of arachidonic acid for the enzymatic synthesis of arachidonoyl ethanolamide. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2013, vol. 90, pp. 1031–1039, doi: 10.1007/s11746-013-2247-7.
12. Ohshima Y., Imoto H., Fujii A. Process for the production of high purity alkanolamide (Verfahren zur Herstellung von hochreinem Alkanolamid). *Patent German* No DE19648513. 1997.
13. Wang X., Chen Y., Jin Q., Huang J., Wang X. Synthesis of Linoleoyl Ethanolamide. *J. Oleo Sci.*, 2013, vol. 62, Iss. 6, pp. 427–433, doi: 10.5650/jos.62.427.
14. Patil S. L., Kapadi U. R., Hundiwal D. G., Shaikh V. R. Kinetics of Condensation Reactions between Ethanolamine (Amino-Alcohol) and Dicarboxylic Acids at 413 K. *Int. J. Chem. Kinet.*, 2014, vol. 46, Iss. 2, pp. 138–142, doi: 10.1002/kin.20837.
15. Tkacheva A., Dosmagambetova I., Chapellier Y. Pharmaceuticals and Surfactants from Alga-Derived Feedstock: Amidation of Fatty Acids and Their Derivatives with Amino Alcohols. *ChemSusChem*, 2015, vol. 8, Iss. 16, pp. 2670–2680, doi: 10.1002/cssc.201500526.
16. Musteata M., Dinu V., Florea A., Hoang M., Trong V.-T., Do T.-O., Kaliaguine S., Parvulescu V.I. Acylation of different amino derivatives with fatty acids on UL-MFI-type catalysts. *Pure Appl. Chem.*, 2007, vol. 79, Iss. 11, pp. 2059–2068, doi: 10.1351/pac200779112059.
17. Mäki-Arvela P., Zhu J., Kumar N., Eränen K., Aho A., Linden J., Salonen J., Peurla M., Mazur A., Matveev V., Murzin D. Yu., Solvent-free "green" amidation of stearic acid for synthesis of biologically active alkylamides over iron supported heterogeneous catalysts. *Appl. Catal. A, General.*, 2017, vol. 542, pp. 350–358, doi: 10.1016/j.apcata.2017.06.006.
18. Wang X., Chen Y., Ma Y., Jin Q., Wang X. Lipozyme 435-catalyzed synthesis of eicosapentaenoyl ethanolamide in a solvent-free system. *J. Molec. Cat. B: Enzym.*, 2015, vol. 122, pp. 233–239, doi: 10.1016/j.molcatb.2015.09.016.
19. Plastina P., Meijerink J., Vincken J.P., Gruppen H., Witkamp R., Gabriele B. Selective synthesis of unsaturated N-acyl ethanolamines by lipase-catalyzed N-acylation of ethanolamine with unsaturated fatty acids. *Lett. Org. Chem.*, 2009, vol. 6, pp. 444–447, doi: 10.2174/157017809789124885.

Відомості про авторів (About authors)

Захарко Назар Олегович – аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», аспірант кафедри технології органічних продуктів; тел.: (067) 208-86-58; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8066-3101>, e-mail: nazar.o.zakharko@lpnu.ua.

Zakharko Nazar – PhD Student, Lviv Polytechnic National University, PhD Student at the Department of Organic Products Technology; tel.: (067) 208-86-58; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8066-3101>, e-mail: nazar.o.zakharko@lpnu.ua.

Мельник Степан Романович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри технології органічних продуктів; тел.: (067) 391-29-77; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0629-9723>, e-mail: stepan.r.melnyk@lpnu.ua.

Melnyk Stepan – Doctor of Technical Sciences, Professor, Lviv Polytechnic National University, Professor at the Department of Organic Products Technology; tel.: (067) 391-29-77; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0629-9723>, e-mail: stepan.r.melnyk@lpnu.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Захарко Н. О., Мельник С. Р. Некаталітична і каталітична взаємодія моноетаноламіну та 2-етилгексанової кислоти. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2025. № 1 (23). С. 70-75. doi:10.20998/2413-4295.2025.01.09.

Please cite this article as:

Zakharko N., Melnyk S. The non-catalytic and catalytic interaction of ethanolamine and 2-ethylhexanoic acid. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2025, no. 1(23), pp. 70–75, doi:10.20998/2413-4295.2025.01.09.

Надійшла (received) 11.02.2025

Received 20.03.2025