

УДК 661.7

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.231449

Розробка раціональних умов одержання калій гліцерату

Н. С. Ситнік, К. В. Куниця, В. С. Мазаєва, А. А. Чернуха, К. М. Остапов,
П. Ю. Бородич, В. І. Мазуренко, О. С. Ковальов, В. В. Вельма,
В. О. Колоколов

Досліджено залежність ефективності одержання калій гліцерату з використанням гліцерину та розчину калій гідроксиду від умов проведення процесу. Як параметр ефективності процесу одержання калій гліцерату застосовано концентрацію калій гліцерату в кінцевому продукті.

Гліцерати металів використовують у виробництві продукції будівельної галузі, електроніки, медицини, як каталізатори переетерифікування для одержання спеціальних жирів різного призначення, а також біодизельного палива.

З метою одержання калій гліцерату застосовано нагрівання з одночасним перемішуванням суміші гліцерину та калій гідроксиду.

Виконано аналіз калій гідроксиду, в якому масова частка основної речовини склала 85,5 %, масова частка калій карбонату – 0,9 %. В роботі застосовано гліцерин кваліфікації ч. д. а. з масовою часткою основної речовини 99,5 %.

Визначено вплив температури нагрівання реакційної суміші на концентрацію калій гліцерату в продукті. Показано, що раціональною температурою нагрівання є 145 °С.

Встановлено залежність концентрації калій гліцерату в кінцевому продукті від наступних умов проведення процесу: зміни мольної концентрації гліцерину та тривалості нагрівання реакційної суміші.

Визначено раціональні умови одержання калій гліцерату: мольна концентрація гліцерину 60 %, тривалість нагрівання 4 год. Експериментально встановлена концентрація калій гліцерату в продукті за цих умов склала 75,77 %.

В калій гліцераті визначено температуру плавлення (69 °С) та масову частку вологи (0,8 %).

Результати експериментальних досліджень дозволяють одержувати калій гліцерат безпосередньо на підприємствах, де використовують гліцерати металів, з доступної сировини, за раціональних умов. Визначені умови одержання калій гліцерату дозволяють ефективно використовувати матеріальні та енергетичні ресурси.

Ключові слова: калій гліцерат, калій гідроксид, гліцерин, реакційна суміш, вміст основної речовини.

1. Вступ

В різних галузях промисловості використовуються гліцерати металів, які являють собою солі гліцерину. Реакційну здатність гліцерину визначає наявність в молекулі цієї сполуки двох первинних і однієї вторинної гідроксильних груп. Гліцерин проявляє властивості слабкої трьохосновної кислоти, і, на відмі-

ну від одноатомних спиртів, може вступати в реакцію з гідроксидами лужних металів з утворенням гліцератів. Гліцерин також утворює галогенові ефіри, солі з оксидами важких металів та інші сполуки.

Гліцерати лужних та лужноземельних металів одержують взаємодією гліцерину з металами, оксидами та гідроксидами металів. Гліцерати мають широкий спектр застосування. Так, натрій гліцерат завдяки гігроскопічним властивостям застосовують у виробництві абсолютного спирту. Плюмбум гліцерат використовують в якості каталізатору під час отримання алкідних смол. Кальцій гліцерат використовують для адсорбції вуглекислого газу та води [1]. Цинк гліцерат знаходить застосування в медицині [2].

Купрум гліцерат застосовують під час хімічної обробки скла та може бути використаний під час виготовлення люмінесцентних і фотолюмінісцентних покриттів, а також інших елементів оптоелектроніки [3].

Гліцерати лужних металів (натрій, калій, літій) використовують в процесі одержання біодизельного пального з рослинних олій та відходів процесів переробки олій [4]. З цією метою також застосовують кальцій гліцерат [5]. Дані сполуки є каталізаторами процесу переетерифікування, в результаті якого одержують біодизельне паливо, яке являє собою ефіри жирних кислот.

Таким чином, постає питання виробництва цих речовин на підприємствах, де використовуються технології з їх застосуванням. В умовах підприємства, де діють періодичні або безперервні схеми виробництва, випускається значний обсяг продукції, відбувається безперервний контроль якості продукції. Отже, важливим є забезпечення безперебійної роботи обладнання, уникнення браку, раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів, зниження собівартості продуктів, організація безпечності виробництва [6]. Всі ці фактори впливають на якість та економічну доцільність випуску продукції.

Існують різні методи та технології одержання гліцератів металів, які відрізняються за набором початкових реагентів, параметрами проведення процесу [1]. Але для впровадження технології у виробництво існує потреба у визначенні раціональних умов, за яких технологія буде раціональною та рентабельною.

Отже, дослідження, направлені на визначення раціональних параметрів реагування, співвідношення компонентів реакційної суміші для одержання гліцератів металів, є актуальним завданням. Зважаючи на перспективність використання цих сполук за пріоритетними напрямками промисловості, зокрема, пального нового покоління, необхідно є розробка ефективної технології одержання гліцератів лужних металів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Найбільш розповсюдженим способом одержання гліцератів лужних металів є дія на гліцерин концентрованого водного розчину натрій або калій гідроксиду під час нагрівання. Температура реагування повинна забезпечувати ефективне випаровування вологи, отже, має бути вище 100 °C [1].

В роботі [7] наведено результати дослідження щодо одержання калій гліцерату з метою його використання як каталізатору у виробництві біодизельного пального. Встановлено, що раціональними умовами є мольне співвідношення

калій гідроксид:гліцерин 2:1, температура 130 °С. Показано, що вихід біодизеля з одержаним калій гліцератом відповідає виходу біодизелю за умов використання звичайного промислового каталізатора калій метоксиду. Але при цьому немає даних щодо впливу тривалості реагування компонентів на вихід калій гліцерату та його концентрацію в готовому продукті. В роботі використано суттєвий надлишок калій гідроксиду під час одержання каталізатору. Отже, одержаний каталізатор має суттєву концентрацію луку, що може призводити до омилення жирів та жирних кислот під час одержання біодизелю, і, як наслідок, втрат сировини.

Авторами [8] представлено дані щодо одержання кальцій гліцерату. Показано, що кальцій гліцерат може бути повторно використаний принаймні протягом п'яти реакційних циклів без втрати активності під час одержання біодизельного пального. Але не наведено даних щодо раціональних умов одержання такого каталізатору, впливу температури та тривалості реагування на вихід каталізатору та його концентрацію в одержаному продукті.

В роботі [9] досліджено синтез кальцій дигліцерату механохімічною обробкою кальцій оксиду, диспергованого в гліцерині. Отриманий продукт випробували як каталізатор при метанолізі соняшникової олії. Але немає даних щодо залежності ефективності одержання кальцій дигліцерату від параметрів синтезу.

В роботі [10] досліджено одержання кальцій дигліцерату шляхом взаємодії кальцій гідроксиду з гліцерином із варіюванням часу та температури реакції. Але відсутні дані щодо впливу співвідношення компонентів реакційної суміші на ефективність процесу синтезу кальцій дигліцерату.

Авторами [11] одержано натрій гліцерат з гліцерину, метанолу та натрій гідроксиду. При цьому не вказано впливу параметрів та співвідношень реагентів на вихід кінцевого продукту та концентрацію основної речовини в ньому.

Таким чином, процес одержання гліцератів металів є важливим науково-практичним завданням. Але в сучасних дослідженнях не вистачає даних щодо одночасного впливу основних параметрів на концентрацію гліцератів в одержаному продукті. Дана інформація є важливою для ефективного проведення процесу синтезу, раціонального включення одержання гліцератів до загальної технологічної схеми випуску продукції з їх використанням. Крім того, відсутня інформація щодо концентрації основної речовини в продуктах, одержаних за технологіями, описаними в сучасних наукових роботах. Концентрація основної речовини є однією з найважливіших характеристик синтезованих речовин, оскільки визначає норму введення, ефективність застосування речовини, її фізико-хімічні властивості, поведінку у суміші з іншими складовими. Ці дані є необхідними для гарантування належної якості продукції [12–14].

Отже, невирішеним питанням в цьому напрямку є дослідження раціонального співвідношення реагентів під час одержання гліцератів лужних металів, а також встановлення раціональних параметрів проведення процесу реагування компонентів реакційної суміші. Необхідним є визначення концентрації основної речовини в одержаному продукті, що дозволить точно оцінювати необхідну норму використання гліцерату та ефективно вести процес за встановлених умов.

3. Мета і завдання дослідження

Метою досліджень було встановлення раціональних умов одержання калій гліцерату. Це дозволить ефективно впроваджувати у виробництво одержання калій гліцерату. Використання результатів досліджень сприятиме раціональному застосуванню матеріальних та енергетичних ресурсів, підвищенню рентабельності підприємств різних галузей промисловості за рахунок випуску та можливої реалізації якісної продукції – гліцератів лужних металів.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- проаналізувати сировину для синтезу калій гліцерату – калій гідроксид, визначити масову частку основної речовини та масову частку калій карбонату;
- дослідити вплив температури нагрівання реакційної суміші на ефективність одержання калій гліцерату;
- експериментально визначити залежність концентрації калій гліцерату в кінцевому продукті від умов проведення процесу: зміни мольної концентрації гліцерину в реакційній суміші та тривалості нагрівання;
- визначити якісні показники одержаного калій гліцерату: температуру плавлення та масову частку вологи.

4. Матеріали та методи дослідження залежності ефективності одержання калій гліцерату від умов реагування

4.1. Досліджувані матеріали та обладнання, що використовувались в експерименті

В даному дослідженні використовувалися наступні реактиви та матеріали:

- гліцерин кваліфікації «ч. д. а.» концентрацією 99,5 % (CAS Number 56-81-5);
- калій гідроксид кваліфікації «ч. д. а.» (масова частка основної речовини не менше 85,0 %) (CAS Number 1310-58-3);
- бутанол кваліфікації «ч.» (масова частка основної речовини 99,7 %; масова частка води 0,05 %) (CAS Number 71-36-3);
- молекулярне сито (CAS Number 1318-02-1);
- оцтова кислота кваліфікації «х. ч.» концентрацією 99,8 % (CAS Number 64-19-7);
- фенолфталеїн кваліфікації «ч. д. а.» (масова частка основної речовини не менше 98,0 %) (CAS Number 77-09-85768-87-6);
- метиловий оранжевий (масова частка основної речовини не менше 98,0 %) (CAS Number 547-58-0).

4.2. Методика аналізування калій гідроксиду

Масову частку основної речовини та масову частку калій карбонату в калій гідроксиді визначено за стандартною методикою згідно ГОСТ 24363. Допустимі розбіжності між двома паралельними визначеннями не перевищували для калій гідроксиду - 0,5%, для карбонату калію - 0,2%.

4.3. Методика одержання калій гліцерату

У термостійку колбу поміщують гліцерин та розчин калій гідроксиду концентрацією 50 %, суміш ретельно перемішують скляною паличкою. Колбу за-

кріплюють на штативі та встановлюють в гліцеринову баню з магнітною мішалкою, встановлюють задану температуру з використанням терморегулятора, підключають колбу до вакуум-насосу. Перемішування вмісту колби проводять протягом заданого часу реагування, при цьому відбувається випаровування води у вакуумі, після чого одержують в'язку кристалічну масу – гліцерат калію.

4. 4. Методика визначення концентрації основної речовини в калій гліцераті

Метод полягає в потенціометричному титруванні наважки, розчиненої в зневодненому бутанолі, розчином оцтової кислоти. В стакан об'ємом 100 см³ розміщують наважку (5±0,5) г, доливають 30 см³ бутанолу, після чого розчиняють на водяній бані із зворотним холодильником. Скланку розміщують на титрувальному столі, занурюють в розчин електроди і магнітик для перемішування розчину. Включають магнітну мішалку і титрують аналізований продукт розчином оцтової кислоти в бутанолі, додаючи його порціями від 0,1 до 1,0 см³, до зниження величини рН середовища до постійного значення.

За визначеними даними будують інтегральну і диференційну криві титрування. Еквівалентний об'єм розчину кислоти 0,1 моль/дм³ V_e , см³, витрачений на титрування наважки аналізованого продукту, визначають графічно (проекція на вісь абсцис точки перегину інтегральної кривої або точки максимуму на диференційній кривій титрування).

Концентрацію лугу (калій гідроксиду та калій гліцерату) в продукті, %, визначали за формулою:

$$X = \frac{c \cdot K \cdot V_e \cdot M}{m}, \quad (1)$$

де c – концентрація оцтової кислоти, ммоль/см³; K – поправочний коефіцієнт до титру оцтової кислоти; V_e - еквівалентний об'єм розчину оцтової кислоти, витрачений на титрування, см³; M – молекулярна маса лугу, мг/ммоль; m – маса наважки продукту, г.

4. 5. Методика визначення температури плавлення та масової частки вологи у калій гліцераті

Температуру плавлення калій гліцерату визначено термомікрометодом за стандартною методикою згідно ГОСТ 18995.4. За результат аналізу приймали середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, абсолютна розбіжність між якими не перевищувала допустиме розходження, рівне 0,5 °С для термометрів з ціною поділки 0,1 і 0,2 °С, і 1 °С для термометрів з ціною поділки 0,5 °С. Допустима абсолютна сумарна похибка визначення ±0,3 °С для термометрів з ціною поділки 0,1 і 0,2 °С і ±1 °С для термометрів з ціною поділки 0,5 °С при довірчій ймовірності $P=0,95$.

Масову частку вологи у калій гліцераті визначено наступним чином. У фарфорову чашу зважують (2±0,2) г речовини. Чаша поміщається до сушильної шафи, із температурою 105 °С, на 45 хвилин. Після цього чашу поміщають до

ексикатору на 15 хвилин. Після цього проводять зважування з точністю до 0,001. Так цикли висушування ведуть до тих пір, доки маса не стане постійною. Розходження між паралельними визначаннями не перевищували 0,2 %.

4. 6. Планування експериментальних досліджень та обробка результатів

Для планування наукових досліджень та опрацювання одержаних даних використано повний факторний експеримент другого порядку, розрахунки за яким виконано у середовищах Microsoft Office Excel 2003 (USA) та Stat Soft Statistica v6.0 (USA). Дослідження проводили при двократному повторенні.

5. Результати досліджень залежності ефективності одержання калій гліцерату від умов обробки реакційної суміші

5. 1. Встановлення масової частки основної речовини у калій гідроксиді

Під час зберігання калій гідроксиду в ньому утворюється певна кількість калій карбонату. Проаналізовано калій гідроксид з метою точного дозування для одержання калій гліцерату. Встановлено масову частку основної речовини - 85,5 %, а також масову частку калій карбонату – 0,9 % за стандартною методикою (п. 4. 2). Розчин калій гідроксиду концентрацією 50 % для одержання калій гліцерату приготовано з урахуванням масової частки основної речовини.

5. 2. Дослідження залежності концентрації калій гліцерату в кінцевому продукті від температури нагрівання реакційної суміші

Утворення гліцератів лужних металів відбувається за умов нагрівання та випаровування вологи з реакційної маси. Досліджено вплив температури нагрівання реагентів у межах (100-160) °С на ефективність утворення калій гліцерату (концентрацію основної речовини у кінцевому продукті). Калій гліцерат у дослідженнях одержано за методикою, наведеною у п. 4. 3. Концентрацію основної речовини в одержаному продукті визначено за методикою, наведеною у п. 4. 4. Результати досліджень наведено на рис. 1.

Апроксимуюче рівняння має наступний вигляд:

$$y = 14,159 \cdot \ln x + 4,5812, \quad (2)$$

де x – температура нагрівання суміші реагентів, °С; y – концентрація гліцерату калію в кінцевому продукті, %.

Ступінь достовірності апроксимації склав $R^2=0,9429$.

За температури 120 °С масова частка калій гліцерату у кінцевому продукті становить 71,4 %, за температури 145 °С – 75,8 %, за температури 160 °С – 76,2 %. Тобто різниця у масових частках за 120 °С та 145 °С складає 4,4 %, а за 145 °С та 160 °С – лише 0,4 %. Отже, підвищення масової частки основної речовини різко знижуються після температури 145 °С. Подальші дослідження проведено за температури 145 °С.

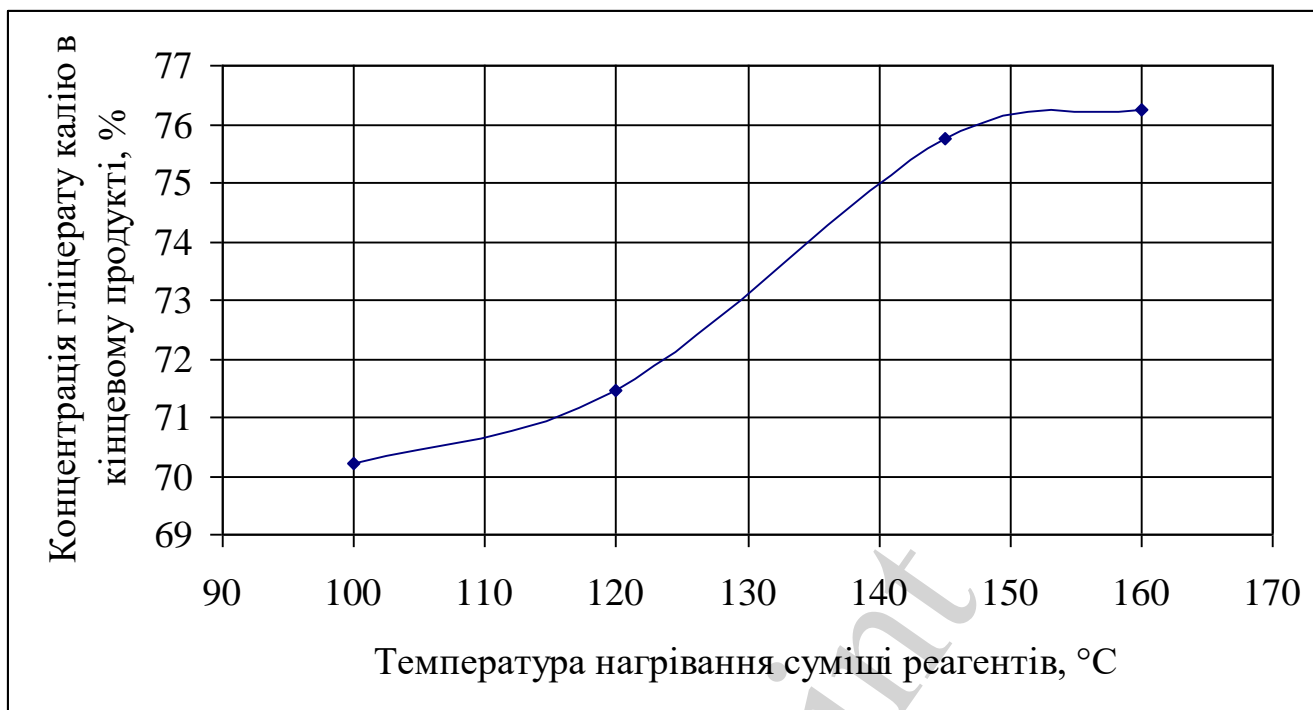


Рис. 1. Залежність масової частки калій гліцерату у кінцевому продукті від температури нагрівання суміші реагентів

5. 3. Дослідження залежності концентрації калій гліцерату в кінцевому продукті від умов одержання продукту

Отже, з'ясовано, що ефективним є процес утворення калій гліцерату за температури не менше 145 °C. Під час одержання гліцератів лужних металів важливим технологічним параметром є співвідношення компонентів. Під час нагрівання водних розчинів гліцерину відбувається часткове випаровування гліцерину. Отже, є доцільним використання надлишку гліцерину. Крім того, гідроксид калію, що може залишитися у кінцевій масі без додавання надлишку гліцерину, може ускладнювати подальше використання калій гліцерату (наприклад, у переетерифікуванні жирів викликати втрати жиру через омилення).

Досліджено наступні умови одержання калій гліцерату: зміна мольної концентрації гліцерину у суміші та тривалість реагування реакційної суміші. Для проведення експериментальних досліджень та одержання математичної моделі використано повний факторний експеримент другого порядку: кількість факторів – 2, кількість дослідів – 9, кількість рівнів – 3. Інтервали варіювання факторів: x_1 – мольна концентрація гліцерину у суміші: від 50 до 70 %; x_2 – тривалість реагування реакційної суміші: від 2 до 6 год. У табл. 1 представлено матрицю планування експериментальних досліджень із фактичними значеннями факторів, а також експериментально встановлені значення функції відгуку - концентрації калій гліцерату у кінцевому продукті. У всіх «точках досліду» гліцерат калію одержано за методикою, наведеною у п. 4. 3, концентрацію основної речовини визначено за методикою, наведеною у п. 4. 4.

В результаті обробки експериментальних даних у середовищі пакета Stat Soft Statistica v6.0 (USA) (п. 4.6) одержано математичну модель, що являє со-

бою залежність концентрації калій гліцерату у кінцевому продукті від умов обробки реакційної суміші.

Таблиця 1

Матриця планування досліджень та експериментальні значення функції відгуку

№ дос-ліду	Мольна концентрація гліцерину у суміші, %	Тривалість реагування реакційної суміші, год.	Концентрація калій гліцерату у кінцевому продукті, %
1	50	2	31,25
2	50	4	48,53
3	50	6	58,60
4	60	2	34,85
5	60	4	75,77
6	60	6	77,50
7	70	2	45,78
8	70	4	76,89
9	70	6	79,54

В нормованому вигляді регресійна залежність концентрації калій гліцерату у кінцевому продукті від умов обробки реакційної суміші має вигляд:

$$y = 71,02 + 10,64 \cdot x_1 + 17,29 \cdot x_2 - 12,48 \cdot x_2^2 \quad (3)$$

У реальних перемінних:

$$y = -77,30 + 1,06 \cdot x_1 + 33,60 \cdot x_2 - 3,12 \cdot x_2^2 \quad (4)$$

В залежностях (3), (4): x_1 – мольна концентрація гліцерину у суміші, %; x_2 – тривалість реагування реакційної суміші, год.

Виконано перевірку адекватності одержаної математичної моделі з використанням критерію Фішера, за якою встановлено відсутність утрати узгодженості (рівень значущості коефіцієнтів рівняння регресії $p > 0,05$). Значення коефіцієнту детермінації для одержаної моделі становить 0,95093 (значення є близьким до одиниці). Таким чином, математична модель адекватно описує залежність концентрації калій гліцерату у кінцевому продукті від умов одержання продукту.

У табл. 2 показано розрахункові значення функції відгуку, визначені за рівнянням (4). Номери дослідів 1–9 відповідають номерам дослідів у матриці планування (табл. 1).

Таблиця 2

Розрахункові значення концентрації калій гліцерату у кінцевому продукті, %

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Концентрація калій гліцерату у кінцевому продукті, %	26,67	54,44	59,26	41,25	71,02	75,84	45,95	75,72	80,54

На рис. 2 показано проекцію поверхні відгуку, що являє собою залежність концентрації калій гліцерату у кінцевому продукті від мольної концентрації гліцерину у суміші та тривалості реагування реакційної суміші. Проекцію побудовано у середовищі пакета Stat Soft Statistica v6.0 (USA).

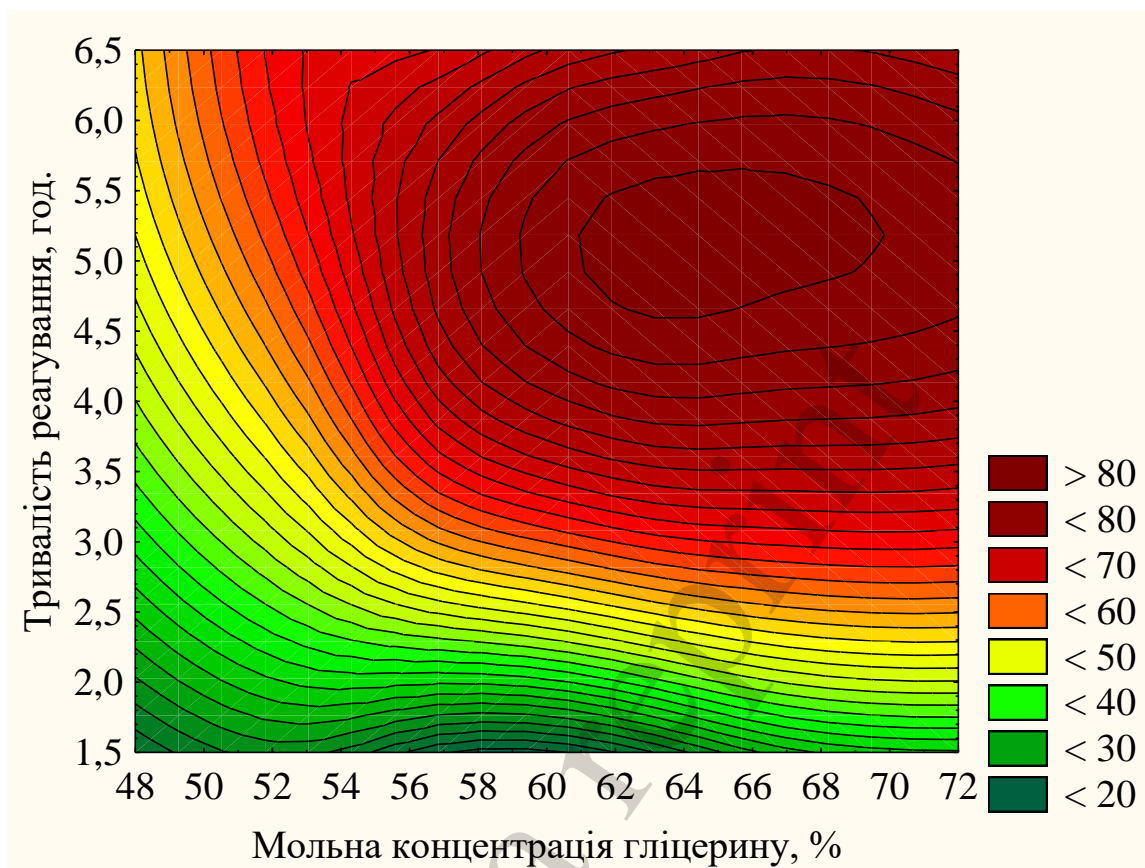


Рис. 2. Залежність концентрації калій гліцерату у кінцевому продукті від мольної концентрації гліцерину у суміші та тривалості реагування реакційної суміші

Аналізуванням регресійної залежності (4) та графічної залежності на рис. 2, встановлено наступне. Із збільшенням тривалості реагування реакційної суміші та мольної концентрації гліцерину у суміші відбувається підвищення концентрації калій гліцерату у кінцевому продукті. Найбільші значення функції відгуку спостерігаються за умов мольної концентрації гліцерину у суміші – від 60 до 70 %, тривалості реагування компонентів реакційної суміші – від 4 до 6 год. Тобто ці значення умов одержання калій гліцерату є зоною раціональних значень, подальше збільшення параметрів є недоцільним.

Отже, раціональними значеннями умов одержання калій гліцерату є наступні: мольна концентрація гліцерину у суміші – 60 %, тривалість реагування компонентів реакційної суміші – 4 год. За даних умов концентрація калій гліцерату у кінцевому продукті складає 75,77 %.

Ці дані одержано з точки зору концентрації основної речовини в продукті. Якщо порівнювати одержані результати з дослідженнями інших авторів, то, зокрема в роботі [7] встановлено, що раціональним є мольне співвідношення гліцерин:калій гідроксид 2:1, але вивчався вплив цього показника на втрату маси

вільної води під час синтезу каталізатора. Раціональною температурою визначено 130 °С. Але випаровування води не є безперечним показником ефективності процесу синтезу каталізатору, оскільки з водою випаровується гліцерин, і концентрація гліцерату в масі залишається невідомою.

В сучасних дослідженнях, зокрема, в роботах [8–11] не розглянуто вплив умов одержання на якість гліцератів металів. А лише показано умови їх подальшого застосування, ефективність у різних технологічних процесах, зокрема, щодо одержання біодизельного пального.

5. 4. Визначення якісних показників калій гліцерату

Досліджено якісні показники одержаного калій гліцерату за методиками, наведеними у п. 4. 5. Температура плавлення склала 69 °С, масова частка вологи - 0,8 %. Отже, за раціональними умовами одержано якісний продукт із мінімальним вмістом вологи.

6. Обговорення результатів дослідження залежності ефективності одержання калій гліцерату від умов обробки реагентів

Досліджено сировину для синтезу калій гліцерату (калій гідроксид). Встановлено масову частку основної речовини - 85,5 % та масову частку калій карбонату – 0,9 %.

Визначено вплив температури обробки компонентів реакційної суміші на концентрацію калій гліцерату у кінцевому продукті (рис. 1). Показано, що підвищення температури вище 145 °С є недоцільним.

На підставі табл. 1, 2, рівняння (4) та рис. 2 встановлено раціональні умови одержання калій гліцерату: мольна концентрація гліцерину у суміші – 60 %, тривалість реагування компонентів реакційної суміші – 4 год. За даних умов визначено концентрацію калій гліцерату у кінцевому продукті, яка складає 75,77 %. Досліджено якісні показники одержаного калій гліцерату: температура плавлення склала 69 °С, масова частка вологи - 0,8 %.

Від існуючих наукових даних щодо одержання гліцератів металів [12–17] ця робота відрізняється тим, що встановлено одночасний вплив основних умов одержання на концентрацію калій гліцерату у кінцевому продукті. Визначені відповідні раціональні умови дозволять ефективно впроваджувати одержання гліцератів лужних металів у виробничий процес, де є потреба у цих речовинах. Одержані дані щодо концентрацій калій гліцерату в продукті мають суттєве значення під час використання гліцератів як сировини або каталізаторів у виробництві продукції різного напрямлення.

Утворення калій гліцерату відбувається під час нагрівання та випаровування вологи з реакційної маси (суміші гліцерину та водного розчину калій гідроксиду). Наявність води призводить до розкладання калій гліцерату, при цьому знову утворюються гліцерин та гідроксид калію. Раціональним є нагрівання суміші до температури 145 °С.

Із збільшенням тривалості реагування реакційної суміші та мольної концентрації гліцерину у суміші відбувається підвищення концентрації калій гліцерату у кінцевому продукті. Підвищення тривалості процесу сприяє більш пов-

ному перетворенню реагентів на кінцевий продукт. В роботі застосовано мольні концентрації гліцерину в суміші, починаючи з 50 %, оскільки менші концентрації гліцерину сприятимуть наявності залишку калій гідроксиду в кінцевому продукті. Це може негативно вплинути на подальші процеси використання гліцерату, наприклад, призводити до омилення та втрат жирів, під час використання калій гліцерату як каталізатору процесу переестерифікування олій та жирів. Крім того, розчини гліцерину з водою здатні випаровуватися під час нагрівання, що призводить до втрат гліцерину та неповного перетворення калій гідроксиду. Результати експерименту показали, підвищення мольної концентрації гліцерину у суміші більше 60 %, а також тривалості реагування компонентів реакційної суміші більше 4 год. не призводять до суттєвого підвищення значень функції відгуку.

Одержані дані щодо раціональних умов одержання калій гліцерату також можна використовувати для одержання гліцератів інших лужних металів (наприклад, натрій). Слід враховувати реальні концентрації основної речовини в гідроксидах лужних металів, оскільки під час зберігання лугів відбувається їх часткове перетворення на карбонати, внаслідок чого знижується реальна концентрація лугу в реакційній масі та ефективність процесу одержання гліцератів. Якість гліцерину також впливає на ефективність ведення процесу. В роботі використано гліцерин концентрацією 99,5 %. У разі використання гліцерину більш низької концентрації слід враховувати цей факт під час розрахунку необхідної кількості реагентів для синтезу калій гліцерату. Слід зазначити, що одержані дані описують процес синтезу гліцерату калію за умов мольної концентрації гліцерину у суміші від 50 до 70 % та тривалості реагування від 2 до 6 год. У разі використання значень цих параметрів за межами дослідження необхідне проведення додаткових робіт із встановлення відповідних залежностей, перевірки адекватності математичної моделі.

Перспективними напрямками досліджень щодо одержання гліцератів металів є вивчення фізико-хімічних властивостей одержаних зразків гліцератів, дослідження температурних та теплових характеристик фазових перетворень. Ці дані дозволять пов'язувати чистоту одержаної речовини з характеристиками, визначеними інструментально. Це дозволить оперативно контролювати якість одержаних гліцератів металів, розраховувати потрібну кількість для проведення того чи іншого технологічного процесу. Встановлені раціональні умови одержання калій гліцерату нададуть можливість ефективно використовувати ресурси підприємства, оскільки представляють залежність концентрації одержаного продукту від різних параметрів. Варіюванням параметрів обробки суміші реагентів можна одержувати гліцерати високої концентрації. Поєднуючи дані щодо концентрації гліцератів та їх фізико-хімічних властивостей, є можливість вироблення високоякісних гліцератів для різних потреб промисловості.

7. Висновки

1. Проведено аналіз калій гідроксиду з метою подальшого використання для одержання калій гліцерату. Визначено масову частку основної речовини - 85,5 %, а також масову частку калій карбонату— 0,9 %. Значення масової частки

основної речовини в калій гідроксиді використано у приготуванні розчину для одержання калій гліцерату.

2. Визначено вплив температури нагрівання реакційної суміші на ефективність одержання калій гліцерату. Раціональним значенням температури нагрівання реакційної суміші є 145 °С. Підвищення температури більше цього значення не призводить до суттєвого збільшення концентрації калій гліцерату у кінцевому продукті.

3. Експериментально встановлено залежність концентрації калій гліцерату в кінцевому продукті від наступних умов: мольної концентрації гліцерину в реакційній суміші та тривалості нагрівання. Збільшення значень цих показників призводить до збільшення концентрації калій гліцерату. Раціональні значення умов одержання калій гліцерату є наступними: мольна концентрація гліцерину у суміші – 60 %, тривалість реагування компонентів реакційної суміші – 4 год. За даних умов концентрація калій гліцерату у кінцевому продукті складає 75,77 %.

4. Визначено показники калій гліцерату, одержаного за раціональними умовами: температуру плавлення, яка склала 69 °С, та масову частку води, яка склала 0,8 %.

Література

1. Рахманкулов, Д. Л., Кимсанов, Б. Х., Чанышев, Р. Р. (2003). Физические и химические свойства глицерина. Москва: Химия, 200. URL: https://www.studmed.ru/rahmankulov-dl-kimsanov-bh-chanyshev-rr-fizicheskie-i-himicheskie-svoystva-glicerina_a990eae1973.html
2. Geibel, J. P., Kirchoff, P. (2006). Pat. No. EP1976532A2. Fast acting inhibitor of gastric acid secretion. declared: 27.01.2006; published: 11.11.2015. URL: <https://patents.google.com/patent/EP1976532A2/en>
3. Новіков, О. О., Новікова, Л. В., Семенченко, О. О. (2004). Пат. № 4382 UA. Спосіб хімічної обробки скла. № 2004042569; заявл. 06.04.2004; опубл. 17.01.2005, Бюл. № 1. URL: <https://uapatents.com/2-4382-sposib-khimichno-obrobki-skla.html>
4. Pradhan, S., Shen, J., Emami, S., Naik, S. N., Reaney, M. J. T. (2014). Fatty acid methyl esters production with glycerol metal alkoxide catalyst. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116 (11), 1590–1597. doi: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201300477>
5. Hsiao, M.-C., Chang, L.-W., Hou, S.-S. (2019). Study of Solid Calcium Diglyceroxide for Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using a High Speed Homogenizer. *Energies*, 12 (17), 3205. doi: <https://doi.org/10.3390/en12173205>
6. Teslenko, A., Chernukha, A., Bezuglov, O., Bogatov, O., Kunitsa, E., Kalyna, V. et al. (2019). Construction of an algorithm for building regions of questionable decisions for devices containing gases in a linear multidimensional space of hazardous factors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (101)), 42–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181668>
7. Pradhan, S., Shen, J., Emami, S., Mohanty, P., Naik, S. N., Dalai, A. K., Reaney, M. J. T. (2017). Synthesis of potassium glyceroxide catalyst for sustainable

green fuel (biodiesel) production. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 46, 266–272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.10.038>

8. Reyero, I., Arzamendi, G., Gandía, L. M. (2014). Heterogenization of the biodiesel synthesis catalysis: CaO and novel calcium compounds as transesterification catalysts. *Chemical Engineering Research and Design*, 92 (8), 1519–1530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.11.017>

9. Lukić, I., Kesić, Ž., Zdujić, M., Skala, D. (2016). Calcium diglyceroxide synthesized by mechanochemical treatment, its characterization and application as catalyst for fatty acid methyl esters production. *Fuel*, 165, 159–165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.063>

10. Sánchez-Cantú, M., Reyes-Cruz, F. M., Rubio-Rosas, E., Pérez-Díaz, L. M., Ramírez, E., Valente, J. S. (2014). Direct synthesis of calcium diglyceroxide from hydrated lime and glycerol and its evaluation in the transesterification reaction. *Fuel*, 138, 126–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.08.006>

11. Bradley, D., Levin, E., Rodriguez, C., Williard, P. G., Stanton, A., Socha, A. M. (2016). Equilibrium studies of canola oil transesterification using a sodium glyceroxide catalyst prepared from a biodiesel waste stream. *Fuel Processing Technology*, 146, 70–75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.02.009>

12. Kovaliova, O., Tchoursinov, Y., Kalyna, V., Koshulko, V., Kunitsia, E., Chernukha, A. et. al. (2020). Identification of patterns in the production of a biologically-active component for food products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (11 (104)), 61–68. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200026>

13. Sytnik, N., Kunitsa, E., Mazaeva, V., Chernukha, A., Bezuglov, O., Bogatov, O. et. al. (2020). Determination of the influence of natural antioxidant concentrations on the shelf life of sunflower oil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (11 (106)), 55–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209000>

14. Papargyriou, D., Broumidis, E., de Vere-Tucker, M., Gavrielides, S., Hilditch, P., Irvine, J. T. S., Bonaccorso, A. D. (2019). Investigation of solid base catalysts for biodiesel production from fish oil. *Renewable Energy*, 139, 661–669. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.124>