

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"
ІНСТИТУТ ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ФАРМАЦІЇ
КАФЕДРА ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
" Хімія та технологія основного органічного і нафтохімічного синтезу"
для здобувачів вищої освіти
за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія

Затверджено на засіданні
кафедри хімічних технологій
Протокол №1 від 29.08.2022 р.

Методичні вказівки до виконання лабораторних роботи з дисципліни "Хімія та технологія основного органічного і нафтохімічного синтезу" для здобувачів спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія / Уклад.: С.В. Сайтарли, Ю.М. Пушкарьов, І.В. Дмитренко.– Одеса: Одеська політехніка, 2022. – 14 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доцент Сайтарли Світлана Вікторівна,
канд. техн. наук, доцент Пушкарьов Юрій Миколайович
канд. техн. наук, доцент Дмитренко Інна Вікторівна

С.В. Сайтарли, Ю.М. Пушкарьов, І.В. Дмитренко. 161 – Хімічні технології та інженерія. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Хімія та технологія основного органічного і нафтохімічного синтезу". В методичних вказівках наведені короткі теоретичні відомості за темами робіт, схеми експериментальних установок та методики проведення експериментів, а також надано рекомендації з оброблення отриманих експериментальних даних. Методичні вказівки призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

ЗМІСТ

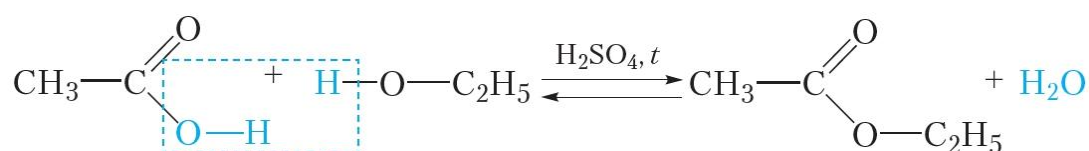
Лабораторна робота 1	3
Синтез ефірів оцтової кислоти	3
Лабораторна робота 2	8
Нітрування аренів	8
Лабораторна робота 3	11
Окиснення ароматичних вуглеводнів киснем повітря	11

Лабораторна робота 1

Синтез ефірів оцтової кислоти

Складні ефіри оцтової кислоти у порівнянні зі складними ефірами інших карбонових кислот найчастіше використовуються як запашні речовини. Поряд з ацетатами нижчих аліфатичних спиртів, що мають фруктові або фруктово-ягідні запахи, широко застосовуються ацетати терпенових спиртів, що мають в основному квіткові запахи, а також ацетати ароматичних спиртів, що мають сильний, приємний запах квітів, фруктів і зелені. Всі ацетати, що застосовуються як запашні речовини, – рідини, що не застигають при кімнатній температурі. Найбільше застосування як розчинників отримали ефіри оцтової кислоти. Інші ефіри (кислот молочної – лактати, масляної – бутирати, мурашиної – форміати) знайшли обмежене застосування. Форміати через сильну омилюваність і високу токсичність в даний час не використовуються. Певний інтерес становлять розчинники на основі ізобутилового спирту та синтетичних жирних кислот, а також алкілен-карбонати.

Ацетати жирних спиртів використовуються в промисловості широко і у великих кількостях. Їх синтез здійснюється в основному за реакцією етерифікації, яка є типовим прикладом оборотної реакції, яка каталізується протонодонорними кислотами (сульфатною, соляною, сульфокислотами), катіонообмінними смолами, тетрабутоксититаном та іншими речовинами у рідинній фазі:



Стан рівноваги залежить від молярної маси та будови кислоти і спирту. Практично до кінця можна провести процес етерифікації, якщо безперервно вилучати зі сфери реакції хоч би один з компонентів, що утворюються (ефір або воду). У промисловості використовують їх здатність вилучатися з реакційної суміші індивідуально або у складі азеотропів (табл. 1).

Таблиця 1 – Речовини, що вилучаються з реакційної суміші під час синтезу ефіру

Ефір, що синтезується	Вилучається з реакційної суміші
Етилацетат	Ефір
Бутилацетат	вода+ефір
Бутилфталат	вода+спирт надмірний
Бутилацетат	вода+спец.агент

Якщо вилучається гетерогенний азеотроп, то після охолодження він розділяється на два шари. Верхній, органічний шар, повертають назад у реактор, а відводять тільки нижній – водяний шар.

Опис установки

Експериментальна установка, схема якої зображена на рис. 1, складається з куба – термостійкої колби на 500 мл зі шліфом, дефлегмуючої колонки з пасткою Діна – Старка і зворотнього водяного холодильника. Куб обігривається спеціальним колбонагрівачем з закритою спіраллю, напруга струму на якому регулюється ЛАТРом.

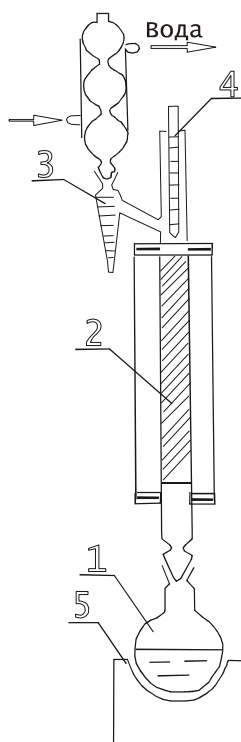


Рис. 1 – Схема установки етерифікації:

1 – куб; 2 – колонка; 3 – сепаратор; 4 – термометр; 5 – колбонагрівач.

Лабораторний посуд та обладнання: ділильна лійка на 250 мл; конічна колба на 200 мл; колба Вюрца на 250 мл; приймачі на 50 мл; алонж; водяний холодильник; термометр; водяна баня.

Реактиви, що використовуються:

- н-бутиловий спирт – 0,55 моль;
- оцтова кислота льодова – 0,50 моль;
- сульфатна кислота концентрована – 0,3 мл;
- н-гексан – 100 мл;
- 5% водний розчин Na_2CO_3 – 100 мл;
- сульфат натрію прожарений.

Проведення експерименту

Колбу приєднують до дефлегмуючої колонки і зверху, крізь сепаратор, наливають гексан. При цьому частина його залишається в сепараторі, а решта стікає через колонку в куб. В куб заливають розраховану кількість спирту, кислоти і каталізатора (мірною піпеткою). Перевіривши герметичність всіх з'єднань, пускають воду в зворотній холодильник і починають нагрівання кубу.

Під час синтезу реакційна маса помірно кипить, а з холодильника в сепаратор стікає 1-2 краплі конденсату в секунду. Через деякий час при уважному спостереженні можна помітити початок утворення водного шару на дні пастки. Для зручності спостереження за нею треба помістити світлий екран. Починаючи з цього моменту, відомості про об'єм води, що виділилася (пастка градуйована) і про час спостереження заносять в таблицю 2, потрібно зробити 8-10 замірів.

Таблиця 2– Результати проведення експерименту

№ п/п	Початок кипіння	1	2	3	4	5	6	7	8
Час, години, хв									
Час після початку кипіння, хв									
Об'єм води (А), мл									

Час закінчення реакції визначають за припиненням виділення води і за її кількістю. Вимикають колбонагрівач, подачу води в холодильник.

Після охолодження реакційної колби її вміст переносять в ділільну лійку на 250 мл, де його спочатку промивають 100 мл води, потім 100 мл водного розчину соди (масовий вміст 5%) і знову водою, як спочатку. Органічний шар, що добре відстоявся, акуратно зливають (без краплі води) в суху конічну колбу на 200 мл з доброю пробкою і сушать прожареним сульфатом натрію декілька годин (у 2 прийоми).

Рідину фільтрують у зважений куб ректифікаційної колонки, залишаючи у колбі важкий нижній шар сульфату натрію. Зважуючи куб з фільтром, визначають початкову масу суміші.

В окремі, чисті, сухі, зважені приймачі відгоняють три фракції: 1-а до 80 °С, 2-а – 80-125 °С, 3-я – 125-127 °С. Остання фракція – цільова. Зваживши приймачі з погонями і куб із залишком, заносять в табл. 3 відомості про маси і підводять матеріальний баланс.

Таблиця 3 – Матеріальний баланс процесу

Куб з вихідною сумішшю	1 фракція з приймальн	2 фракція з приймальн.	3 фракція з приймальн.	куб з залишком
Куб	1 прийм.	2 прийм.	3 прийм.	куб
Суміш	1 фракція	2 фракція	3 фракція	залишок
∑ фракцій і залишку	Усі зазначені зважування виконують на технічних вагах з точністю до 0,01 г			
Втрати				

Визначають показник заломлення продукту при 20 °С і заносять його в таблицю.

Аналіз продуктів синтезу ефіру.

Визначення кислотного числа продукту.

У чисту, суху колбу на 100 мл з термостійкого скла з шліфом поміщають наважку біля 0,15 г речовини, зважують з точністю 0,0002 г, додають 15 мл етилового спирту, 3–4 краплі індикатору (0,1 процентний спиртовий розчин тимолового синього) і титрують 0,1н спиртовим розчином КОН. Кінець титрування визначається переходом забарвлення від жовтого до блакитного у лужному середовищі. Паралельно проводять сліпий дослід. Обидва об'єми витраченого лугу записують у журнал спостережень. Вміст колби не виливають!

Визначення ефірного числа продукту

До суміші, що залишилася у колбі після визначення кислотного числа, доливають додатково 25 мл 0,1н розчину КОН, приєднують зворотний повітряний холодильник і нагрівають на водяній бані на протязі 1,5 год. Після охолодження колби її вміст титрують 0,1н розчином НСІ до появи блакитного коліру. Результат заносять у журнал.

Можна взяти для цього визначення чистий вихідний продукт, але тоді буде одержане “число омилення” (Ч.О.), так як

$$E.C. = Ч.О. - K.C. \quad (1.1)$$

Обробка результатів експерименту

На основі стехіометричного рівняння основної реакції розраховують максимальну кількість ефіру, яка може бути одержана. Порівнюючи її з дійсно одержаною кількістю ефіру, визначають практичний вихід, %.

Будують графіки на міліметровому папері в координатах

$$t, \text{ хв} - A, \text{ мл} \quad \text{і} \quad t, \text{ хв} - \ln \frac{A_{\text{max}}}{A},$$

де A_{max} – гранично можливе виділення води, яке одержують стехіометричним розрахунком.

Графіки можна суміщати на одному аркуші, побудувавши другу вісь справа. На їх підставі роблять висновки про зміну швидкості реакції в ході процесу, про порядок реакції.

Розрахунок кислотного числа ведеться за рівнянням:

$$K.Ч. = \frac{(a - b) \cdot 5.61}{C}, \quad (1.2)$$

де a, b – об'єми 0,1н КОН, витраченого на титрування проби і на сліпий дослід, мл;
 c – наважка проби, г.

Розрахунок ефірного числа проводять за формулою:

$$E.Ч. = \frac{d \cdot 5.61}{\varphi}, \quad (1.3)$$

де d – об'єм 0,1н розчину соляної (або сульфатної) кислоти, який пішов на титрування проби,
 φ – навішення проби, г.

Коли відома максимальна кількість води, яку відводимо зі сфери фракції води, A_{max} і склад азеотропу, то можливо вирахувати мінімальну масу суміші, що відганяється з системи, за рівнянням:

$$G_{min} = \frac{A_{max}}{m}, \quad (1.4)$$

де m – масова доля води в азеотропі, що відганяється.

Кінцеві результати експериментів і розрахунків зводять в табл. 4.

Таблиця 4 – Кінцеві результати експериментів і розрахунків

Маса ефіру, г		n _d ²⁰ ефіру		Е.Ч. мг КОН/г		К.Ч. мг КОН/г
Стехіометрич.	Одержано	Довідник	Експеримент.	Стехіометрич.	Експеримент.	

На основі порівнянь можна судити про чистоту одержаної речовини, а також на основі ефірних чисел розрахувати масову частку ефіру в отриманому продукті.

Контрольні запитання та завдання.

- Які продукти можуть бути отримані у процесах етерифікації:
 - Карбонова кислота + спирт;
 - Карбонова кислота + гліцерин;
 - Дікарбонова кислота + етиленгліколь.

Наведіть рівняння реакцій та дайте пояснення.

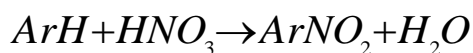
2. Які види каталізаторів використовують під час процесів етерифікації?
3. Приведіть механізм дії каталізаторів процесів етерифікації.
4. Дайте термодинамічну характеристику процесів рідкофазної та парофазної етерифікації.
5. Які технічно важливі продукти отримують у процесах етерифікації?
6. Як впливає будова спиртів та кислот на кінетику реакцій етерифікації?

Лабораторна робота 2

Нітрування аренів

Ароматичні нітросполуки представляють великий інтерес у промисловій технології проміжних продуктів, тому що вони використовуються у виробництві барвників, отрутохімікатів, вибухових речовин, лікарських речовин та ін.

Реакція нітрування є незворотною і сумарно записується



Реакційна вода розбавляє азотну кислоту, уповільнюючи процес і підвищуючи її оксидаційну активність. Тому нітрування найчастіше в промисловості проводять сумішшю сульфатної та азотної кислот. Остання є каталізатором, водовіднімаючим засобом і зменшує оксидаційну дію. Головним агентом є іон нітронія.

Реакційна спроможність бензолу відносно невелика, а в його алкілзаміщених вона істотно вища – толуол нітрується приблизно в 25 разів швидше. З іншого боку, хлорбензол нітрується в тих же умовах приблизно в 8 разів повільніше, ніж бензол. Умови нітрування підбирають відповідно активності вихідної сировини.

Заступники в бензольному ядрі визначають переважне місце входження нітрогрупи. Реакція дуже екзотермічна (приблизно 150 КДж/моль на одну нітрогрупу). Тепловий ефект процесу додатково зростає через розведення суміші реакційною водою. Тому контроль температури надзвичайно важливий.

Упорядкування нітруючої суміші. Її кількість визначається кількістю толуолу, що нітрується. Зручно прийняти 0,15 моль. Для одержання мононітропохідних азотну кислоту беруть у мольном відношенні 1:1 (у розрахунку на 100%-ву HNO_3). Кількість сульфатної кислоти підбирають так, щоб одержати нітруючу суміш із фактором нітруючої активності (Ф.Н.А.) у межах 68...71 (за завданням).

$$\text{Ф.Н.А.} = \omega_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot \frac{140}{140 - \omega_{\text{HNO}_3}}, \quad (2.1)$$

де $\omega_{\text{H}_2\text{SO}_4}$, ω_{HNO_3} – масова доля відповідної кислоти в нітруючій суміші, (%).

Зазавичай використовують міцну азотну кислоту (56-70% мас.) і концентровану сульфатну кислоту (92-98 % (мас.)). Перевіривши масові долі наявних вихідних кислот, розраховують їхні необхідні об'єми в мл. Змішують кислоти під тягою, доливаючи до міцної азотної кислоти невеличкими порціями при перемішуванні концентровану сульфатну кислоту.

Проведення експерименту

Даний синтез проводять у витяжній шафі!

У трьохгорлу колбу місткістю 100 мл, яка обладнана мішалкою, краплинною лійкою і термометром поміщають 0,13 моля толуолу. При працюючій мішалці повільно, протягом 0,5–1 години, додають підготовлену нітруючу суміш, підтримуючи задану температуру 25–45 °С за допомогою водяної бані. Після додання всієї суміші, перемішування продовжують ще 1 годину за тієї ж температури.

Охолоджену суміш переносять у ділильну лійку. Нижній шар (відпрацьовану суміш кислот) виливають у каналізацію, обов'язково розбавляючи великою кількістю холодної води. Верхній шар відокремлюють і промивають спочатку холодною водою, потім 10%-м розчином NaOH і знову водою до нейтральної реакції. Нижній маслянистий шар сушать гранульованим CaCl₂ доки рідина не стане прозорою. Можна використовувати прожарені Na₂SO₄ або MgSO₄.

Визначення вмісту нітротолуолу

Аналіз заснований на відновленні нітропохідних до аміну і наступному його діазотуванні.

Навіску суміші (приблизно 1 г) зважують із точністю до 0,01 г у конічній колбі місткістю 250 мл. Навіску розчиняють у суміші 40 мл 80%-вої оцтової кислоти і 20 мл концентрованої соляної кислоти. Додавши 5 г цинкового порошку, колбу з'єднують з зворотним водяним холодильником і суміш нагрівають 15 хв. Потім кип'ятять ще 15 хв. Розчин прохолоджують і фільтрують на лійці Бюхнера. Фільтрат і промивні води зливають у мірну колбу місткістю 250 мл, доводять до мітки дистильованою водою і перемішують.

Відбирають 80 мл розчину і титрують 0.1н розчином NaNO₂. Кінець діазотування визначають по йодкрохмальному папері. Краплю суміші наносять на папір скляною паличкою через 3 хвилини після додатка останньої порції NaNO₂ і енергійного перемішування. Перше титрування дає приблизний результат. Друге виконується набагато швидше і точніше. Паралельно ставлять контрольний експеримент для визначення чутливості йодкрохмального

паперу. Для цього в стакан наливають усі реактиви в такій же кількості, як зазначено в методиці, за винятком аналізованого продукту і титрують (по краплях) тим же розчином до появи характерного посиніння йодкромального паперу.

Масову долю нітротолуолу (%) у суміші обчислюють за рівнянням

$$\omega = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 0,0137 \cdot 250 \cdot 80}{m \cdot 100}, \quad (2.2)$$

де V_1 – об'єм 0.1н розчину NaNO_2 , що витрачено на титрування, мл;

V_2 – об'єм розчину, витрачений у контрольному експерименті,

0,0137 – кількість нітротолуолу, що відповідає 1 мл 0.1н розчину NaNO_2 , г;

m – маса навіски суміші, г.

Результати роботи оформляють у виді табл. 2.1, 2.2, 2.3.

Таблиця 2.1 – Нітруюча суміш

Чисті компоненти	Маса, г	Мас.ч., %
HNO_3		
H_2SO_4		
H_2O		
Всього		

Таблиця 2.2 – Початкова суміш

Реактив	Маса, г	Густина, г/см ³	Об'єм, мл
Толуол			
HNO_3			
H_2SO_4			
Всього			

Таблиця 2.3 – Аналіз суміші

Параметри	Визначення		
	1	2	3
Маса колби, г			
Маса навіски, г			
Витрата 0,1н р-ну NaNO_2 , мл			
Масова доля мононітропохідного, %			

Звичайний склад одержаної суміші ізомерів, %: орто – 58; пара – 38; мета – 4. Всі ізомери отрутні (окислюють гемоглобін). У промисловості їх розділяють суміщенням методів ректифікації під вакуумом і вимороження.

На основі результатів роботи визначають мольний вихід мононітропохідних по вихідній сировині.

Зіставленням результатів робіт, що виконано за різних умов можна оцінити вплив основних факторів: температури нітрування; Ф.Н.А.; часу процесу.

По даній методиці можна провести нітрування інших алкілзаміщених бензолу, з огляду на їхню реакційну спроможність. Наприклад, о-ксилол нітрується легше, тому можна використовувати більш м'які умови. Методика аналізу не змінюється.

Контрольні запитання та завдання

1. Якою являється реакція нітрування?
2. Які замісники прискорюють, а які сповільнюють реакцію нітрування?
3. Галогенонітроарени легко вступають у реакції нуклеофільного заміщення. Наведіть рівняння реакцій.
4. Назвіть ефективні нітруючі агенти.?
5. З якої сировини одержують бензол та його гомологи?
6. Які реакції належать до найважливіших реакцій електрофільного заміщення?

Лабораторна робота 3

Окиснення ароматичних вуглеводнів киснем повітря

Рідиннофазні реакції каталітичного окиснення вуглеводнів, зокрема алкілбензолів, киснем або його сумішами з інертними газами мають величезне значення в сучасній нафтохімічній промисловості і дають змогу одержувати масу цінних продуктів.

Ці реакції є ланцюговими реакціями з розгалуженням ланцюгів. Вони багатоступінчасті: утворення початкових радикалів, потім – гідроперекисів, їхній розпад з утворенням нових радикалів, альдегідів, потім кислот і т.д.

Загальна швидкість такого процесу залежить від співвідношення швидкостей двох процесів: фізичної дифузії кисню з газової фази в рідку і хімічного процесу окиснення вуглеводню. Ефективну константу швидкості можна знайти за рівнянням

$$\frac{1}{K_{\text{еф}}} = \frac{1}{K} + \frac{1}{V_f}, \quad (3.1)$$

яке відповідає правилу підсумовування опорів.

Загальний опір складається з хімічного та дифузійного опорів. Відносна їхня роль змінюється в залежності від співвідношення таких величин:

$$\text{За } K \gg V_f, \quad K_{\text{еф}} = V_f, \quad (3.2)$$

$$\text{а за } K \ll V_f, \quad K_{\text{еф}} = K. \quad (3.3)$$

Останній випадок відповідає кінетичній області. Доля кожної області і перехід з однієї в іншу залежить від питомої поверхні контакту фаз f . За малих f дифузійний опір виявляється, незважаючи на достатньо великі коефіцієнти масопередачі V . Навпаки, збільшення f призводить до переходу в кінетичну область навіть тоді, коли хімічна реакція перебігає відносно швидко. Під час барботування газу через рідину швидкість реакції спочатку лінійно зростає з підвищенням лінійної швидкості газу (дифузійна область), а потім цей ріст сповільнюється (перехідний режим) і, нарешті, досягається постійна швидкість (кінетична область процесу).

Як модельний процес вивчається рідиннофазне каталітичне окислення о-ксилолу повітрям до о-толуїлової кислоти у барботажному реакторі. Температура процесу 120 °С, концентрація стеарату кобальту 0,008 моль/л, швидкість подачі повітря л/хв (0.4; 0.8; 1.2; 2.0).

Експериментальна установка

Повітря, стиснуте газодувкою, пройшовши через склянку з сульфатною кислотою у реометр, надходить у реактор під рідкий о-ксилол з каталізатором. Температуру в рідкій фазі вимірюють термометром, а регулюють за допомогою ЛАТРу, що змінює напругу на ніхромовій спіралі, що обігріває масляну баню. Повітря, пройшовши через прошарок рідини, сепарується від бризків рідини у верхній частині реактора, охолоджується в зворотному водяному холодильнику і скидається у витяжну шафу.

Проведення експерименту

О-ксилол залити в реактор. Початкова кількість вуглеводню повинна бути такою, щоб після відбору десятиох проб рівень аерованої рідини залишався б вище бані, що гріється, на 2-3 см.

У ксилол поміщають розраховану кількість каталізатора. Щільно з'єднавши усі роз'ємні частини установки, подають воду до холодильника і включають колбонагрівач. У цей період у реактор також подають невеличку кількість повітря для перемішування і рівномірності обігріву.

При досягненні заданої температури окиснення дають повну необхідну витрату газу і відзначають час, рахуючи його початком реакції.

Проби рідини масою (0,3 – 0,5 г) відбирають у зважену колбу місткістю 100 мл через кожні 20 хвилин, продуваючи перед цим пробозбірник за допомогою груші. Після зважування

колби з пробєю (на технічних вагах, із точністю 0,01 г) до неї добавляють 5 мл ацетону і титрують 0.1н водяним розчином луги у присутності індикатору тимолового синього. Перші проби містять дуже мало кислоти, тому титрувати їх слід обережно, щоб вчасно побачити перехід окрасу від жовтого до блакитного у лужному середовищі.

Паралельно двічі проводять глухий дослід, середній розмір витрати луги в ньому вводять у подальші розрахунки. Проби відбирають до припинення росту концентрації кислоти (при зберіганні постійними всіх умов окиснення). Отримані результати заносять у табл. 3.1.

Таблиця 3. 1 – Результати експериментів

Час окислення, хв	Маса, г			Витрата луги, мл	Масова доля кислоти, %
	Колби з пробєю	Колби	Проби		
Глухий експеримент				1. 2. Середня	
20 40 60					

Маса отриманого оксидату, г -

Опрацювання результатів

Масова доля (%) о-толуїлової кислоти в пробі розраховується за рівнянням

$$\omega = \frac{(V - V_0) \cdot 0,0136 \cdot 100}{m}, \quad (3.4)$$

де V, V₀ – витрати 0.1н розчину луги на титрування проби й у глухому експерименті, мл;

0,0136 – кількість о-толуїлової кислоти в г, що відповідає 1 мл точно 0,1 н розчину луги;

m – маса проби, г.

За результатами експериментів на міліметровому папері будують графіки: час (година) – масова доля кислоти (%) для усіх витрат повітря (4 криві).

Розраховують швидкості окиснення на стаціонарних ділянках кривих окиснення, що пропорційні тангенсам кутів нахилу лінійних ділянок кривих. Криві накопичення стабільного продукту окислення мають S-образний вид, причому індукційний період відсутній у каталітичному процесі.

На другому графіку відбивають залежність швидкості окислення від витрати газу, щоб визначити дифузійну, перехідну і кінетичну області процесу.

Суміші парів о-ксилолу з повітрям, у яких об'ємний вміст вуглеводню знаходиться в межах 3–7,5 %, є вибухонебезпечні.

Перевірити вплив температури і концентрації даного каталізатора на область реакції

можна змінюючи їх у межах 110-130 °С і 0,005–0,012 моль/л відповідно.

Контрольні запитання та завдання.

1. Які продукти можуть бути одержані окисненням ароматичних вуглеводнів киснем повітря?
2. За яких умов відбувається окиснення ароматичних вуглеводнів киснем повітря?
3. Надайте визначення поняттю «ароматичність» та охарактеризуйте основні критерії ароматичності.
4. Охарактеризуйте хімічні властивості бензину та його гомологів
5. Опишіть правила орієнтації в бензольному ядрі.
6. Як застосовуються бензол та його гомологи?