

УДК 541.127:542.943

ДОСЛІДЖЕННЯ ОКРЕМИХ РЕАКЦІЙ КАТАЛІТИЧНОГО ЦИКЛУ ОКИСНЕННЯ ТОЛУЕНУ ТА ЙОГО ОКСИГЕНПОХІДНИХ ОЗОНОМ В АЦЕТАТНОМУ АНГІДРИДІ

Галстян Г.А., Галстян А.Г.Сєдих Г.О., Бондар О.Ю.

RESEARCH OF INDIVIDUAL REACTIONS OF THE CATALYTIC CYCLE THE OXIDATION OF TOLUENE AND ITS OXIGENADA OZONE IN ACETIC ANHYDRIDE

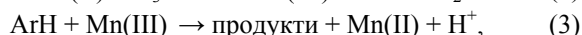
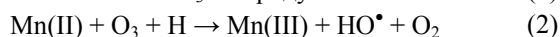
Galstyan G.A, Galstyan A. G., Sedych A.A., Bondar A. Y.

В даній роботі приведені результати кінетичних досліджень основних стадій каталітичного циклу реакцій окиснення толуену та продуктів його окиснення озонотривною сумішшю в розчині ацетатного ангідриду в присутності манган(II) ацетату та сульфатної кислоти при температурі 293 К. Показано, що в присутності манган(II) ацетату озон переважно витрачається за реакцією з Mn^{2+} з утворенням Mn^{3+} , який ініціює окиснення толуену за метильною групою з утворенням бензильних радикалів, які в присутності кисню перетворюються у відповідні пероксидні радикали і далі, за не ланцюговим механізмом, у молекулярні продукти – бензиловий спирт та бензальдегід.

Ключові слова: озон, окиснення, ацетатна кислота, манган(II) ацетат, толуен, бензилацетат, бензилідендіацетат.

В роботі [1] показано, що толуен в ацетатному ангідриді в присутності сульфатної кислоти окиснюється озonom переважно за ароматичним кільцем. Окиснення за метильною групою зупиняється на стадії утворення бензилацетату та бензилідендіацетату, сумарна селективність по яких не перевищує 6 %. Селективність окиснення за метильною групою підвищується до 89,5 % введенням в систему каталізаторів – солей металів змінної валентності, зокрема манган(II) ацетату [2].

З метою з'ясування ролі каталізатора в озонолітичних перетвореннях толуену вивчена кінетика окремих реакцій каталітичного циклу, а саме реакцій озону з толуеном, манган(II) ацетатом та його окисненої форми з толуеном, бензилацетатом та бензилідендіацетатом:



де ArH – толуен та продукти його окиснення

Експериментальна частина. Для проведення кінетичних досліджень реакцій (1) і (2) застосовувався безградієнтний за газовою фазою реактор типу «каталітична качка». Змішування газової і рідинної фаз у реакторі досягалося струшуванням реактора зі швидкістю, що дозволяло працювати в кінетичній області. Для реакції озонування толуену та продуктів його окиснення вона складала більше 8 c^{-1} . Кінетику реакцій вивчали по зміні концентрації озону у газовій фазі на виході з реактора методом спектрофотометрії з застосуванням озонметра, спорядженого проточною кюветою [3].

Ефективну константу швидкості реакцій визначали за формулою [3]:

$$k_{\text{еф}} = \frac{\omega([O_3]_0 - [O_3]_r)}{\alpha [O_3]_r^n [A]_0^m}, \quad (4)$$

де ω – питома швидкість подачі газової суміші, c^{-1} ; $[O_3]_0$ – вихідна концентрація озону в газовій фазі, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$; $[O_3]_r$ – концентрація озону в газовій фазі на виході з реактора, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$; α – коефіцієнт Генрі; $[A]_0$ – вихідна концентрація речовини, що озонується, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$; n і m – порядки реакцій. Помилка визначення $k_{\text{еф}} \approx 8 \div 10 \%$.

На рис. 1, як приклад, наведені ознограми (криві, що характеризують зміну $[O_3]_r$ у часі) окиснення толуену, за якими розраховувалися $k_{\text{еф}}$ для різних температур.

Для визначення стехіометрії за озonom досліди проводили до повного витрачання субстрату. У зв'язку з тим, що його концентрація наприкінці досліду була вичерпно малою, кількість витраченого озону відносили не до $\Delta[ArH]$, а до його початкової концентрації: $\Delta[O_3] / [ArH]_0$.

Концентрацію Mn(III) в реакціях з толуеном та продуктами його окиснення визначали йодометричним методом за формулою:

$$[\text{Mn(III)}] = V_T N_T, \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \quad (5)$$

де V_T – об'єм тіосульфату, витрачений на титрування розчину утвореного йоду, мл; N_T – нормальність тіосульфату.

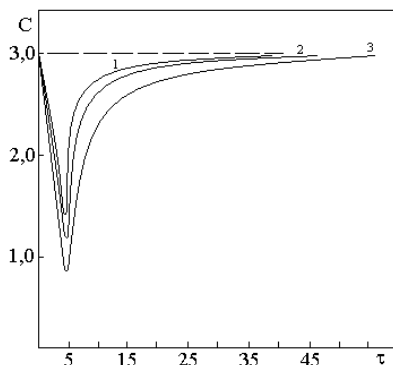


Рис. 1. Озонограми окиснення толуену озonom в оцтовому ангідриді при 278(1), 283(2), 288 К(3). С – концентрація озону, моль/л · 10⁻⁵; τ – час, хв

Результати та їх обговорення

Кінетика реакції озону з толуеном та продуктами його окиснення

Реакція озону з толуеном при температурах до 293 К бімолекулярна, тобто має перший порядок за реагентами (рис. 2); для визначення порядків за реагентами використовувались початкові швидкості реакції озону з толуеном

$$r_{\text{еф}} = k_{\text{еф}} [\text{ArCH}_3]_0 [\text{O}_3]_0,$$

де $r_{\text{еф}}$ – ефективна швидкість реакції, яка враховує витрати озону і толуену за всіма напрямками, моль · (л · с)⁻¹; $k_{\text{еф}}$ – ефективна константа швидкості, л · (моль · с)⁻¹.

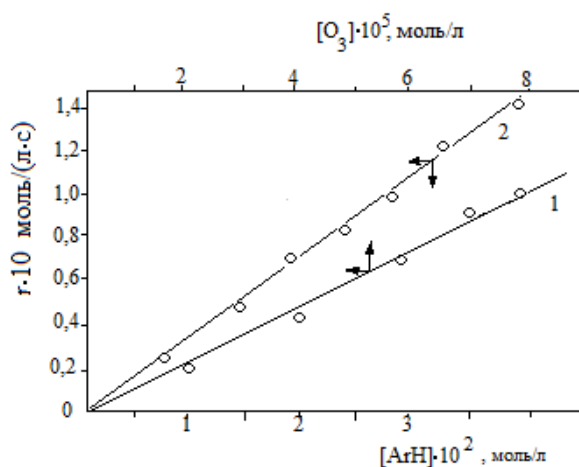


Рис. 2. Залежність початкової швидкості окиснення толуену від концентрації озону (1) ($[\text{ArCH}_3] = 0,03$ моль/л) і толуену (2) ($[\text{O}_3] = 6 \cdot 10^{-5}$ моль/л)

Ефективна константа швидкості, знайдена за формулою (1), при температурі 278 К, дорівнює 0,56

± 0,05 л/(моль · с). Залежність її від температури має вигляд:

$$K = 3,3 \cdot 10^{-5} \exp \frac{20300}{RT}, \text{ л/(моль} \cdot \text{с)}.$$

Стехіометричний коефіцієнт за озonom не залежить від концентрації озону і толуену і є близьким до 3.

Кінетика реакції бензилацетату з озonom

Реакція озону з бензилацетатом при температурі 278 К описується рівнянням другого порядку

$$r_{\text{O}_3} = k_{\text{еф}} [\text{O}_3]_0 [\text{ArCH}_2\text{OCOCH}_3]_0,$$

про що свідчить лінійна залежність початкових швидкостей окиснення бензилацетату від концентрації реагуючих речовин (рис. 3). Ефективна константа швидкості витрати озону при 278 К дорівнює $0,5 \pm 0,05$ л/(моль · с), що є дещо нижчою за $k_{\text{еф}}$ реакції озону з толуеном і значно нижчою за $k_{\text{еф}}$ реакції озону з бензиловим спиртом (1,45 л/(моль · с)). Температурна залежність має вигляд

$$K = 1,9 \cdot 10^{-4} \exp \frac{24400}{RT}, \text{ л/(моль} \cdot \text{с)}.$$

Стехіометричний коефіцієнт за озonom при 278 К дорівнює $1,13 \pm 0,11$ і не змінюється у широкому діапазоні концентрацій реагуючих речовин.

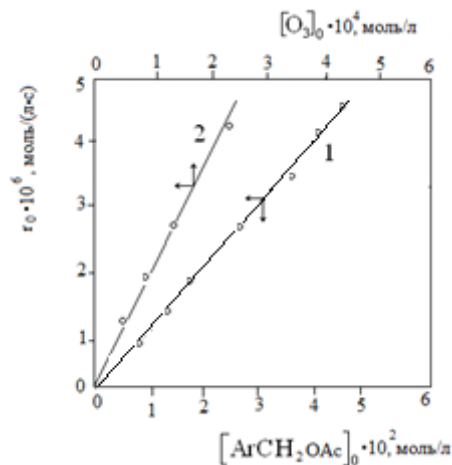


Рис. 3. Залежність початкової швидкості окиснення бензилацетату від концентрації реагуючих речовин при 278 К; $\omega = 0,18$ с⁻¹; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8$ моль/л 1 – залежність r_0 від концентрації бензилацетату при $[\text{O}_3]_0 = 1,9 \cdot 10^{-4}$ моль/л; 2 – залежність r_0 від концентрації озону при $[\text{БАЦ}]_0 = 0,04$ моль/л

Кінетика реакції озону з бензилдендіацетатом. Реакція озону з бензилдендіацетатом в умовах дослідів ($T = 278$ К; $[\text{O}_3]_0 = 4,1 \cdot 10^{-4}$; $[\text{БДАЦ}]_0 = 0,4$; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8$ моль/л), як і у попередніх випадках описується рівнянням

$$r = k_{\text{еф}} [\text{O}_3]_0 [\text{БДАЦ}]_0.$$

При температурі 278 К $k_{\text{эф}}$ складає 0,23 л/(моль с), що вп'ятеро нижче за $k_{\text{эф}}$ реакції бензальдегіду з озоном (0,95 л/(моль с); $T = 278$ К).

Витрати озону на моль окисненого бензилідендіацетату мало залежать від концентрації реагуючих речовин і в широкому інтервалі концентрацій дорівнюють $1,1 \pm 0,1$ моль.

Реакція озону з манган(II) ацетатом описується рівнянням першого порядку за реагуючими речовинами (рис. 4). Параметри цієї реакції наведені в таблиці 1.

Швидкість окиснення Mn(II) в присутності сульфатної кислоти визначається будовою перехідного комплексу $[\text{Mn(II)} \cdot \text{L}_n \dots \text{O}_3]^\ddagger$, стійкість якого залежить від лігандного оточення металу [4, 5]. В оцтовому ангідриді лігандами можуть бути аніони ацетатної кислоти і її ангідриду: $[\text{Mn(II)} \cdot (\text{OAc})_x \cdot ((\text{AcO})_2\text{O})_y]$, а в присутності сульфатної кислоти, вочевидь, може перебігати лігандний обмін ацетат-іону на бісульфат-іон $[\text{Mn(II)} \cdot (\text{OAc})_x \cdot ((\text{AcO})_2\text{O})_{y-b} \cdot (\text{HSO}_4)_{a+b}]$, що може ускладнювати перенос електрону від металу до озону в вищезазначеному комплексі.

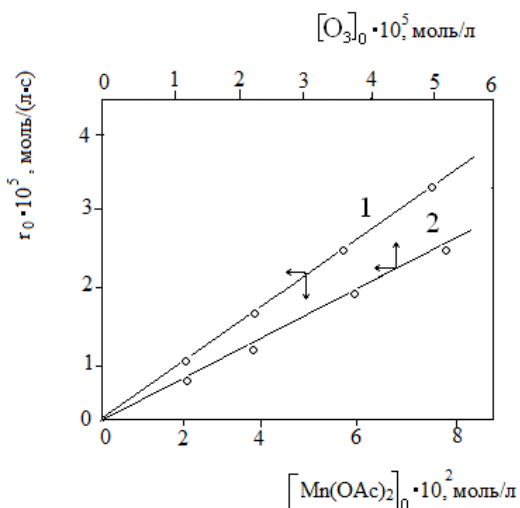
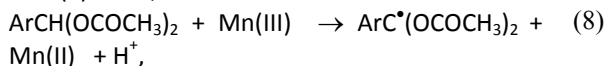
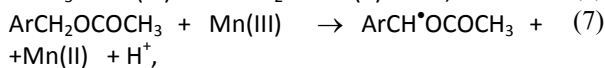
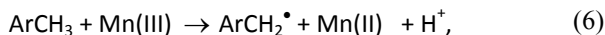


Рис.4. Залежність швидкості окиснення від концентрації манган(II) ацетату (1, $[\text{O}_3]_0 = 4 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8$ моль/л) і озону (2, $[\text{Mn}(\text{OAc})_2]_0 = 0,06$ моль/л; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8$ моль/л) при температурі 278К

Реакції толуену та його оксигенвмісних похідних з манган(III) ацетатом

Реакція манган(III) ацетату з толуеном і продуктами його окиснення спрямовує реакцію окиснення за бічним ланцюгом:



Характер кінетичних кривих окиснення субстрату (або відновлення Mn(III) за цими реакціями) при різних температурах (рис. 5) свідчить про гальмування окиснення вже на початковій стадії. При -5°C реакція зупиняється при ступені перетворення Mn(III) в Mn(II) 45 % для толуену, 30 % для бензилацетату та 13% для бензилідендіацетату, тобто, чим нижча реакційна здатність субстрату, тим нижчий ступінь перетворення Mn(III), при якому зупиняється реакція. Ступінь перетворення Mn(III), за яким зупиняється реакція, залежить також від температури: вище температура – вищий ступінь перетворення (рис.5).

Швидкість відновлення Mn(III) у вивчених умовах залежить від концентрації Mn(III) та субстрату і є зворотнопропорційною концентрації Mn(II):

$$r = (k \cdot [\text{Mn(III)}]_0 \cdot [\text{ArH}]_0) / [\text{Mn(II)}]_0 \quad (9)$$

В таблиці 2 наведено значення констант швидкості відновлення окисненої форми мангану в реакціях (5-7), а також активаційні параметри цих реакцій. Розрахунки констант проводили з використанням початкових ділянок кінетичних кривих, отриманих при різних концентраціях реагентів і різних температурах. При цьому рахувалось, що гальмування реакції Mn(II) в цих умовах є незначним.

З таблиці 2 видно, що значення константи швидкості вивчених реакції знижуються в ряді толуен > бензилацетат > бензилідендіацетат і в такій же послідовності залежать від температури.

Таблиця 1

Константи швидкості реакції озону з манган(II) ацетатом в оцтовому ангідриді

T, K	Початкова концентрація, моль/л			k, л/(моль с)	E, кДж/моль	A, л/(моль с)
	$[\text{Mn}(\text{OAc})_2]_0 \cdot 10^2$	$[\text{O}_3]_0 \cdot 10^4$	$[\text{H}_2\text{SO}_4]_0$			
278	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,8	11,2	26,6±3,0	$(2,1 \pm 2,0) \cdot 10^6$
	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,2	11,0		
	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,4	11,1		
	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	1,0	11,2		
283	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,8	25,8	48,3±4,0	$(1,1 \pm 0,1) \cdot 10^{12}$
288	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,8	31,8		
293	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,8	38,2		
278	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	-	1000,0		
	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	-	1000,0		

Таблиця 2

Параметри і константи швидкості окиснення толуену та його оксигенвмісних похідних Mn(III) ацетатом при 278К

Сполука	k л·моль ⁻¹ ·с ⁻¹	E , КДж/моль	A , л/(моль·с)
Толуен	0,054±0,005	24,8±2,5	2,5·10 ³ ±0,25
Бензилацетат	0,027±0,003	29,9±3,0	1,1·10 ⁴ ±0,11
Бензилідендіацетат	0,013±0,003	37,4±3,7	1,4·10 ⁵ ±0,14

Таблиця 3

Залежність констант швидкості реакції Mn(III) з толуеном та його оксигенвмісними похідними від концентрації сульфатної кислоти при 278К

Сполука	$k \cdot 10^2$ л·моль ⁻¹ ·с ⁻¹ при $[H_2SO_4]_0$, моль/						Порядок реакції по $[H_2SO_4]_0$
	0	0,2	0,4	0,8	1,0	1,2	
Толуен	1,13	2,80	4,80	5,20	5,10	4,80	1,00
Бензилацетат	-	1,30	2,00	2,90	-	2,00	0,50
Бензилідендіацетат	-	1,28	1,29	1,30	-	1,33	0,00

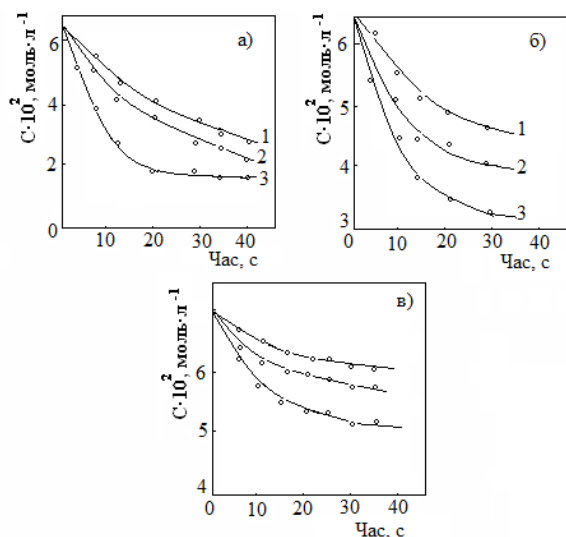
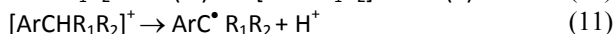


Рис. 5. Кінетичні криві витрати Mn(III) в реакціях з толуеном (а), бензилацетатом (б) та бензилідендіацетатом (в) при температурах 268 (1), 278 (2) та 283 К (3) $[Субстрат]_0 = 0,4$ моль/л; $[Mn(OAc)_2]_0 = 0,06$ моль/л.

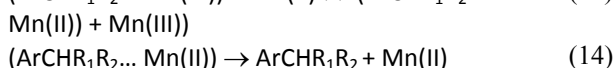
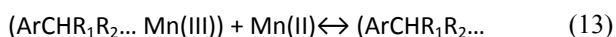
Отримане кінетичне рівняння (8) узгоджується з механізмом [6, 7], який включає зворотній перенос електрону з наступним розпадом катіон - радикалу, що утворюється:



Інгібування окиснення відновною формою мангану пояснюється утворенням на першій стадії комплексу:



який далі реагує з Mn(II) за схемою



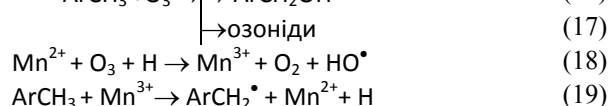
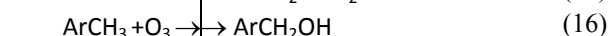
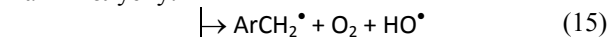
Швидкість окиснення вивчених субстратів має складну залежність від концентрації сульфатної кислоти (табл.3): для толуену, в межах $[H_2SO_4]_0 = 0-0,8$ моль/л, вона має перший порядок за сульфатною кислотою, 0,5 за бензилацетатом і нульовий – за бензилідендіацетатом. Тобто, для толуену і бензилацетату швидкість окиснення зростає з підвищенням концентрації сульфатної кислоти і майже не залежить від неї при окисненні бензилідендіацетату. При $[H_2SO_4]_0 > 0,8$ моль/л швидкість окиснення толуену і бензилідендіацетату знижуються.

За результатами кінетичних досліджень реакції каталітичного циклу стають зрозумілими основні принципи запобігання озонолізу ароматичної системи за умов каталізу і залучення толуену та його оксигенпохідних до окиснення за бічним ланцюгом.

За умов каталізу озон витрачається переважно по реакції з манган(II) ацетатом (2), при цьому в значній мірі запобігається реакція озонолізу (1) ($r_1 = 0,56 \cdot 0,4 \cdot 10^{-4} = 0,9 \cdot 10^{-4}$; $r_2 = 11,1 \cdot 0,06 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 2,7 \cdot 10^{-4}$ л·(моль·с)⁻¹; $r_2: r_1 = 3$)

Утворений за реакцією (2) Mn(III), спрямовує реакцію переважно у напрямку переважного окиснення бічного ланцюга [8] (р.5-7), тобто залучає в окиснення сполуку, що озонується, без руйнування ароматичної системи. Втім, як показали проведені дослідження, для здійснення цієї мети швидкість реакції (3) повинна бути значно вищою за швидкість реакції озонолізу (1), що досягається лише при досить високих концентраціях каталізатора (~15 % моль). Наприклад, для толуену $r_3 = 0,54 \cdot 0,06 \cdot 0,4 = 13 \cdot 10^{-4}$ моль(л·с)⁻¹, за цих умов $r_3: r_1 = 14,4$, а для бензилідендіацетату $r_3 = 0,13 \cdot 0,06 \cdot 0,4 = 3,1 \cdot 10^{-4}$ моль(л·с)⁻¹, а $r_3: r_1 = 3,4$.

Виявлені закономірності добре узгоджуються з наведеною схемою хімічних перетворень при озонуванні толуену:





За такою же схемою окиснюється бензилацетат та бензиліденацетат.

За розглянутою схемою хімічних перетворень селективність окиснення толуену визначається у першому наближенні наступними співвідношеннями:

$$S = \frac{k_{14-16} [\text{ArH}]_0 \cdot [\text{O}_3]_0 a + k_{18} [\text{ArH}]_0 \cdot [\text{Mn}(\text{OAc})_3]_0}{k_{14-16} [\text{ArH}]_0 \cdot [\text{O}_3]_0 + k_{18} [\text{ArH}]_0 \cdot [\text{Mn}(\text{OAc})_3]_0}$$

де $k_{14-16} = 0,56 \text{ л(моль}\cdot\text{с)}^{-1}$; $k_3 = 0,054 \text{ л(моль}\cdot\text{с)}^{-1}$; $[\text{ArH}] = 0,4$; $[\text{Mn}(\text{OAc})_2] = 0,06$; $[\text{O}_3]_0 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ моль}\cdot\text{л}^{-1}$; a – селективність за бічним ланцюгом, $a = 0,06$.

Розрахована селективність окиснення за метильною групою дорівнює 94%, що лише на 5,5 % відрізняється від експериментально знайденої. Така наближеність розрахункових і експериментальних значень підтверджує перебіг реакції окиснення за запропонованою схемою.

Висновки. Кінетичними дослідженнями з'ясована роль реакцій каталітичного циклу при озонуванні толуену в ацетатному ангідриді в присутності манган(II) ацетату. Показано, що введення в систему каталізатора запобігає озонолізу толуену, генерує активну форму Mn^{3+} , яка в реакції з субстратом сприяє його окисненню за бічним ланцюгом.

Л и т е р а т у р а

1. Галстян С.Г. Кінетика окиснення толуену озонופовітряною сумішшю в оцтовому ангідриді / С.Г. Галстян, Н.Ф. Тюпало, А.Г. Галстян // Український хімічний журнал. – 2010. – Т.76, №4. – С. 26-30.
2. Галстян А.Г. Исследование реакции толуола с озоном в жидкой фазе / А.Г. Галстян, С.Г. Галстян, Н.Ф. Тюпало // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т.83, вып. 2. – С. 268-271.
3. Разумовский С.Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С.Д. Разумовский, Г.Е. Заиков. – М.: Наука, 1974. – 322 с.
4. Гринберг А.А. Введение в химию комплексных соединений / Гринберг А.А. – Л.: Химия, 1971. – 632 с.
5. Никитина Г.П. Окислительно-восстановительные реакции в азотокислых растворах. Окисление озоном четырехвалентных нептуния и плутония / Г.П. Никитина, Ю.Е. Иванов, В.Г. Шушков, В.П. Егоров // Радиохимия. – 1975. – Т.17, №6. – С. 957-963.
6. Накамура А. Принципы и применение гомогенного катализа / А. Накамура, М. Цуцун. – М.: Мир, 1963. – 23 с.
7. Белецкая И.П. Окисление алкилароматических глеводородов солями переходных металлов / И.П. Белецкая, Д.И. Махоньков // Успехи химии. – 1981. – Т.50, № 6. – С.1007-1045.
8. Галстян Г.А., Тюпало Н.Ф., Галстян А.Г. Жидкофазное каталитическое окисление ароматических соединений озоном. Луганск: Изд. ВНУ. 2009. – 415 с.

References

1. Galstyan S.G. Kinetika okisnennya toluenu ozonopovityranoyu sumishshyu v octovomu angidridi / S.G. Galstyan, N.F. Tyupalo, A.G. Galstyan // Ukrainskii himichnii zhurnal. – 2010. – T.76, №4. – S. 26-30.
2. Galstyan A.G. Issledovanie reakcii toluola s ozonom v jidkoi faze / A.G. Galstyan, S.G. Galstyan, N.F. Tyupalo // Jurnal prikladnoi himii. – 2010. – T.83, vip. 2. – S. 268-271.
3. Razumovskii S.D. Ozon i ego reakcii s organicheskimi soedineniyami / S.D. Razumovskii, G.E. Zaikov. – M.: Nauka, 1974. – 322 s.
4. Razumovskii S.D. Ozon i ego reakcii s organicheskimi soedineniyami / S.D. Razumovskii, G.E. Zaikov. – M.: Nauka, 1974. – 322 s.
5. Nikitina G.P. Okislitelno vosstanovitelnie reakcii v azotokislilich rastvorah. Okislenie ozonom chetirehvalentnih neptuniya i plutoniya / G.P. Nikitina, Yu.E. Ivanov, V.G. Shushkov, V.P. Egorov // Radiohimiya. – 1975. – T.17, №6. – S. 957-963.
6. Nakamura A. Principi i primenenie gomogennogo kataliza / A. Nakamura, M. Cucun. – M.: Mir, 1963. – 23 s.
7. Beleckaya I.P. Okislenie alkilaromaticeskikh klevodorodov solyami perehodnih metallov / I.P. Beleckaya, D.I. Mahonkov // Uspеhi himii. – 1981. – T.50, № 6. – S.1007-1045.
8. Galstyan G.A., Tyupalo N.F., Galstyan A.G. Zhidkofaznoe kataliticheskoe okislenie aromaticeskikh soedinenij ozonom. Lugansk: izd. vnu. 2009. – 415 s.

Галстян Г.А., Галстян А.Г., Седых А.А., Бондарь А.Ю. Исследование отдельных реакций каталитического цикла окисления толуола и его кислородпроизводных озоном в уксусном ангидриде.

В данной работе приведены результаты кинетических исследований основных стадий каталитического цикла реакций окисления толуола и продуктов его окисления озоновоздушной смесью в растворе уксусного ангидрида в присутствии ацетата марганца (II) и серной кислоты при температуре 293 К. Показано, что в присутствии ацетата марганца (II) озон преимущественно расходуется по реакции с Mn^{2+} с образованием Mn^{3+} , который инициирует окисление толуола по метильной группе с образованием бензильных радикалов, которые в присутствии кислорода превращаются в соответствующие пероксидные радикалы и далее, по не ценному механизму, в молекулярные продукты – бензиловый спирт и бензальдегид.

Ключевые слова: озон, окисление, уксусная кислота, ацетат марганца (II), толуол, бензилацетат, бензилидендиацетат.

Galstyan G.A., Galstyan A. G., Sedych A.A., Bondar A. Y. Research of individual reactions of the catalytic cycle of oxidation of toluene and its oxygenproducing ozone in acetic anhydride.

This paper presents the results of the kinetic studies of basic steps of the catalytic cycle of toluene oxidation and its oxidation products ozone mixture in a solution of acetic anhydride in the presence of manganese acetate (II) and sulfuric acid at a temperature of 293 K. It is shown that in the presence of manganese acetate (II), ozone mainly consumed by reaction with Mn^{2+} with the formation of Mn^{3+} , which initiates the oxidation of toluene is at the methyl group to form the benzyl radicals which in the presence of oxygen are converted in the appropriate peroxy radicals, and further, not by a chain

mechanism, a molecular products - benzyl alcohol and benzaldehyde.

Key words: ozone, acidification, acetic acid, manganese(II) acetate, toluene, benzylated, benzylideneacetone.

Галстян Генрі Аршавірович - д.х.н., професор кафедри хімічних та фармацевтичних технологій, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне).

Галстян Андрій Генрійович – д.х.н., професор, декан факультету хімічних наук, Інститут хімічних технологій

Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне). aggaalst@gmail.com

Сєдих Ганна Олексіївна – к.х.н., доцент, в.о. зав. кафедри медичної хімії, ДЗ «Луганський державний медичний університет». annamik080678@gmail.com

Бондар Олена Юрїївна – студентка, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне)

Рецензент: д.х.н., проф. **Стенцель Й.І.**

Стаття подана 12.12.2017.