

**G.D.Titsky, E.S.Mitchenko, T.S.Gaidash KINETICS AND  $S_NAr$  SUBSTITUTION MECHANISM IN THE REACTION OF N-(2, 4 -DINITROPHENYL)-4-DIMETHYLAMINOPYRIDINIUM SALT WITH PIPERIDINE IN ACETONITRILE**

Kinetics of the reaction between N-(2,4-dinitrophenyl)-4-dimethylpyridinium tetraphenylborate (I) and piperidine (II) was studied in acetonitrile at 298K in wide amine concentration interval ( $0.05\text{-}2\text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Reaction proceeds according to  $S_NAr$  substitution mechanism at carbon atom of benzene ring and is not accompanied by side processes such as recyclization or  $S_NANRORC$ . Tetraphenylborate salt (I) was chosen for reaction mechanism study to avoid specific base anion assistance which had been previously revealed for N-arylpyridinium salt with halogen anion. Taking into account dissociation constant of N-(2,4-dinitrophenyl)-4-dimethylpyridinium salt and its low concentration ( $4\cdot 10^{-5}\text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) we assume that reactive particle in this reaction is cation of salt substrate ( $S_{cat}$ ).

Kinetic control was carried out with spectrophotometric methods on accumulation of reaction product - N-piperidyl-2,4-dinitroaniline ( $\lambda=380\text{ nm}$ ), as well as on accumulation and decay of intermediates ( $\lambda = 515\text{ nm}$ ): zwitterionic and anionic  $\sigma$ -adducts (Meisenheimer complexes). Expected catalysis of piperidine was not revealed.

Step by step analysis of reaction mechanism was carried out. Rate and equilibrium constants of separate stages have been obtained. It was proved that detected  $\sigma$ -adducts lie on reaction coordinate. Formation of  $\sigma$ -adducts proceeds via molecular complex (MC) N-arylpyridinium salt – piperidine. Critical amine concentration value ( $b$ ), which defines the rate-determining stage was detected: at  $b \leq 0.6$  rate determining stage is formation of zwitterionic  $\sigma_1$ -adduct, while the concentration of amine increases  $b \geq 0.6$ , rate determining stage becomes the decay of anionic  $\sigma_2$  adduct (Meisenheimer complex).

**Keywords:**  $S_NAr$  mechanism, N-arylpyridinium salt,  $\sigma$ -adduct, kinetics, equilibrium.

**Тицкий Геннадий Дмитриевич** – канд. хим. наук, ст. науч. сотр., Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко НАН Украины, Донецк, ул. Р.Люксембург, 70, 83114, Донецк, Украина, тел (+38062) 311-68-25, E-mail: gdtitsky@ukr.net

**Митченко Елена Сергеевна** – канд. хим. наук, Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко НАН Украины, ул. Р. Люксембург, 70, Донецк 83114, Украина, тел (+38062) 311-68-25, E-mail: elenmitchen@hotmail.com

**Гайдаш Татьяна Степановна** - Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко НАН Украины, Донецк, ул. Р. Люксембург, 70, 83114, Донецк, Украина.

УДК 546.214:547.7

**П.Ю. Андреев**, канд. хім. наук, **Е.В. Потапенко**, канд. хім. наук, **І.П. Погорелова** канд. техн. наук (Институт хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, м. Рубіжне)

**РЕАКЦІЯ ОКИСНЕННЯ КУМАРОНУ ТА ДИБЕНЗОФУРАНУ ОЗОНОМ У РІДКІЙ ФАЗІ**

Досліджено реакцію кумарону та дибензофурану з озоном у розчині оцтової кислоти. У якості продуктів виявлено пероксидні сполуки, які вірогідно мають лінійну будову. Запропоновано механізм взаємодії озону з наведеними гетаренами. Досліджено кінетичні особливості озонолітичних реакцій гетаренів, знайдені константи швидкості, експериментальні стехіометричні коефіцієнти по озону.

**Ключові слова:** озон; оцтова кислота; кумарон; дибензофуран; окиснення; пероксиди; саліциловий альдегід.

**Вступ**

Кумарон (I) та дибензофуран (II) є типовими гетаренами, які займають значне місце у хімії похідних фурану [1, 2]. Зазвичай реакції електрофільного заміщення (I) та (II) перебігають так же як і у фурану, але слід відмітити деякі особливості, пов'язані зі стабілізуючим впливом бензольного ядра на

фурановий цикл. Стабілізуючий вплив бензольних ядер викликано електроноакцепторною дією, що стягує електронну густину від фуранового циклу.

У випадку (I) електрофільне заміщення відбувається переважно у положення 2 гетерокільця з утворенням деякої кількості 3-ізомеру. Якщо ці положення зайняті то заміщення відбувається у положення 5. При електрофільному заміщенні (II) головним чином утворюються 2-похідні за винятком реакції нітрування [3-5]. У роботах [1-5] розглянуто реакції електрофільного заміщення та окиснення сполук (I) та (II), однак спостерігається недолік робіт з дослідження реакції цих сполук з таким електрофільним окислювачем як озон. Нами вивчена реакція кумарону та дібензофурану з озоном у розчині льодяної оцтової кислоти.

### Експериментальна частина

Окиснення гетаренів (I) та (II) проводили в скляній колонці об'ємом 0,1 дм<sup>3</sup> забезпеченій дрібнопористою перетинкою для диспергування газової суміші і зворотним холодильником. У реактор завантажували 0.05 дм<sup>3</sup> льодяної оцтової кислоти, розраховану кількість метилгетарену і подавали озоноповітряну суміш зі швидкістю  $3,3 \cdot 10^{-3}$  дм<sup>3</sup>/с. Кількість вихідних гетаренів в розчині визначали методом газорідної хроматографії на хроматографі ЛХМ - 80 з полум'яно-іонізаційним детектором на колонці завдовжки 2 м, заповненої носієм - Chromaton N - AW з нанесеною на нього нерухомою фазою ПНФС-6. Пероксиди визначали йодометричним методом описаному у [6]. Концентрацію карбонових кислот визначали лужним титруванням 0,05 N розчином гідроксиду натрію після випаровування розчинника.

Для визначення концентрації озону в газовій фазі застосовували спектрофотометричний метод, заснований на вимірюванні оптичної густини газового потоку УФ-області (254-290 нм). Для вивчення кінетики витрачання озону був використаний спектрофотометр «Спектромом-202», у вимірювальну камеру якого помістили проточну кювету з кварцовими вікнами. Матеріал кювети - тефлон. Вимірювання проводили в проточній кюветі. Чутливість приладу по озону становила  $10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup> озону.

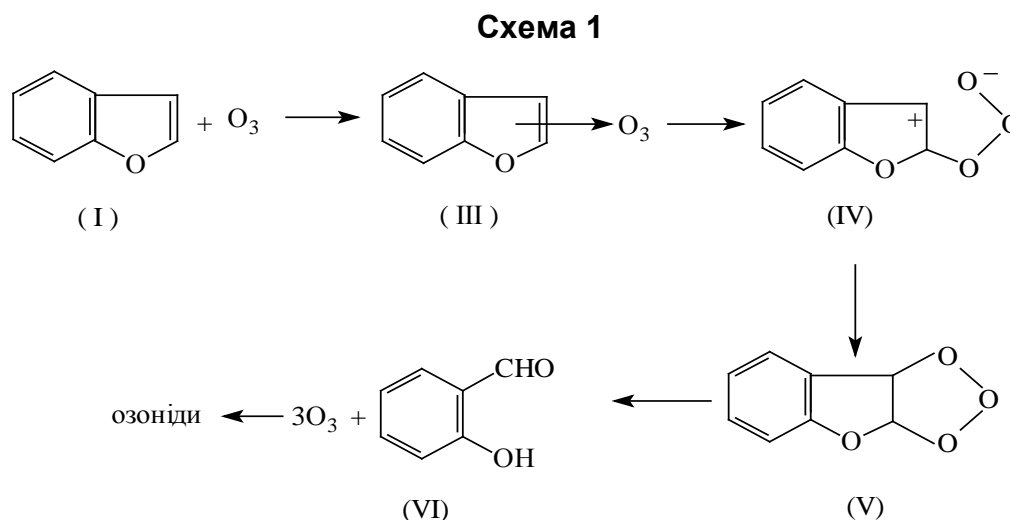
### Результати та їх обговорення

У попередніх роботах присвячених реакції кумарону з озоном, показано, що при взаємодії (I) озоном в хлороформі перебігає реакція з розривом C – C зв'язку гетероциклу та поглинається 1 – 1,7 моль озону на моль гетарену. У випадку озонолізу незаміщеного (I) при поглинанні 1 моль озону основним продуктом реакції є саліциловий альдегід [7, 8]. Реакція озону з (II) у літературі не описано.

Раніше, при дослідженні реакції фурану з озоном у оцтовій кислоті [9] в якості первинних продуктів нами було виявлено гідропероксипероксид лінійної будови. Експериментально знайдений стехіометричний коефіцієнт озону  $\eta_{\text{екс}}$  близько 2 молів на моль гетарену. Ефективна константа швидкості реакції озонолізу  $k_{\text{еф}} = 1,2 \cdot 10^3$  л·моль<sup>-1</sup>·с<sup>-1</sup>.

Нами встановлено, що озон в реакції з гетареном (I) проявляє себе типовим електрофілом і реагує з ними подвійному зв'язку (2-3) гетерокільця з утворенням продуктів руйнування ароматичної системи, що відповідає даним робіт [8, 10].

Показано, що при окисненні (I) озоном у розчині оцтової кислоти при 290 К, відповідно до схеми 1, на першій стадії перебігає швидка електрофільна атака озону по подвійному зв'язку (2-3) гетероцикла з поглинанням 1 молю озону на моль субстрату та утворенням озоніду (V), який надалі трансформується з деструкцією гетероциклу.



Можна припустити, що взаємодія озону з (I) перебігає, відповідно з класичним механізмом електрофільного заміщення, що включає стадію утворення  $\pi$ -комплексу (III), далі відбувається первинна атака озону по незаміщеному атому карбону у  $\alpha$ -положенні з утворенням  $\sigma$ -комплексу (IV), який переходить у озонід (V). Отриманий озонід (V) з розкриттям гетероциклу трансформується у саліциловий альдегід (VI).

Саліциловий альдегід (VI) є проміжною сполукою нестійкою до дії озону (максимальна концентрація у суміші  $2.1 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>) та у відповідності з експериментальними та літературними даними [12 - 14] може перетворюватись з розкриттям циклу по двом напрямкам: перший – утворення феноксильного радикалу його ізомеризація та приєднання до нього гідроксильного радикалу з подальшим розкриттям циклу; другий - атака озону на  $\pi$ -електронну систему карбоциклічного арену (VI) з утворенням триозоніду і подальшим руйнуванням ароматичного циклу (схема 2).

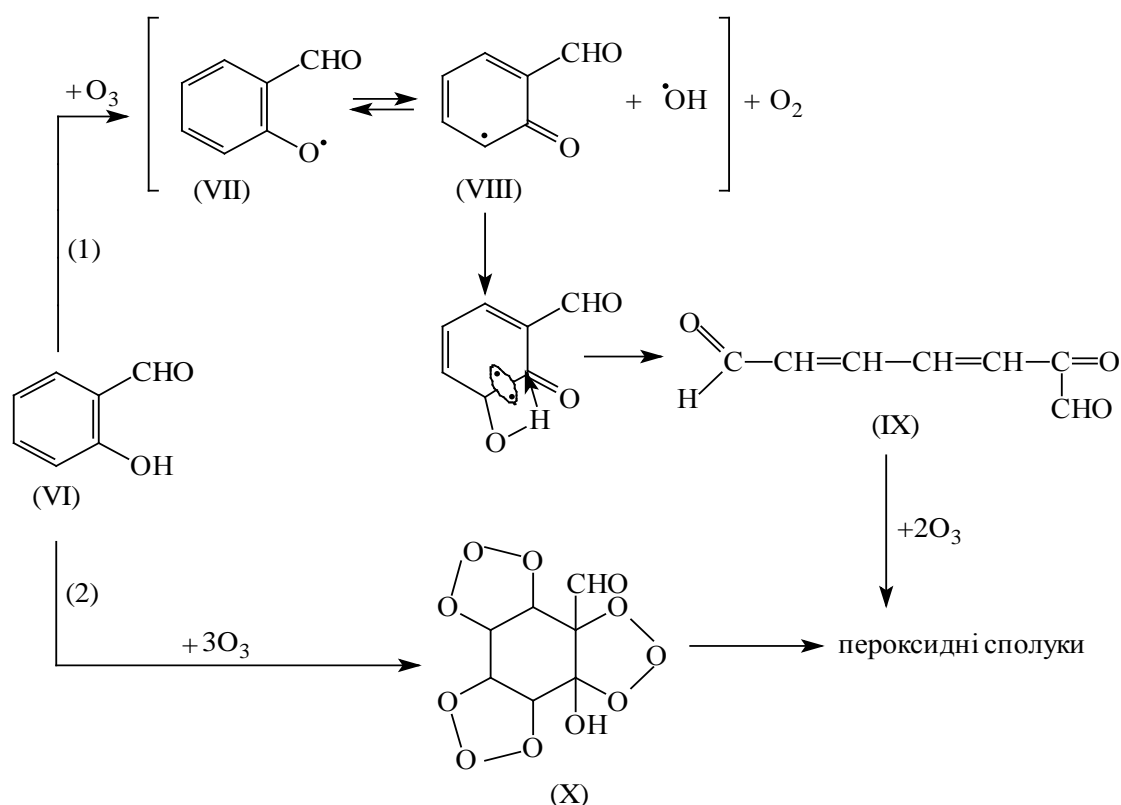
За першим напрямком (схема 2, напрям 1) перебігає приєднання 1 молю озону з утворенням феноксильного радикалу (VII) його ізомеризація у структуру (VIII), яка реагує з гідроксильним радикалом з розкриттям циклу і утворенням ненасиченої карбонільної сполуки лінійної будови (IX). Далі проходить приєднання ще 2 молів озону по подвійних зв'язках карбонільної сполуки (IX) з утворенням пероксидних сполук.

Механізм першого напрямку добре узгоджується з літературними даними стосовно реакції озону з фенолами та їх похідними [12]

За другим напрямком (схема 2, напрям 2) відбувається атака озону на  $\pi$ -електронну систему карбоциклічного арену (VI) [13, 14]. Поглинається ще близько 3 молів озону на моль гетероароматичного субстрату з утворенням триозоніду (X) і подальшим руйнуванням ароматичного циклу і утворенням пероксидних сполук.

І в першому і в другому випадку утворюються пероксидні сполуки, які вірогідно є тримерами лінійної будови з однією кінцевою гідропероксидною групою.

## Схема 2



Досліджувані пероксиди реагують з йодистим калієм у дві стадії: протягом першої, швидкої (тривалість 1 година), виділяється молекулярний йод у кількості, еквівалентній одній кінцевій гідропероксидній групі, а протягом другої, повільної (протягом 24 годин) - ще двох (табл.). Відповідно з літературними даними [15] легше вступають в реакцію з йодистим калієм гідропероксидні групи, значно важче відновлюються пероксидні групи, по своїй природі відповідні діалкілпероксидам. При лужному гідролізі пероксидних сполук, отриманих при озонолізі (I), виділяється аміак, вихід якого близький до кількісного на прореагувавший (I). Сумарний експериментально знайдений стехіометричний коефіцієнт озону  $\eta_{\text{екс}} = 3,73$  моль на моль гетарену (табл.).

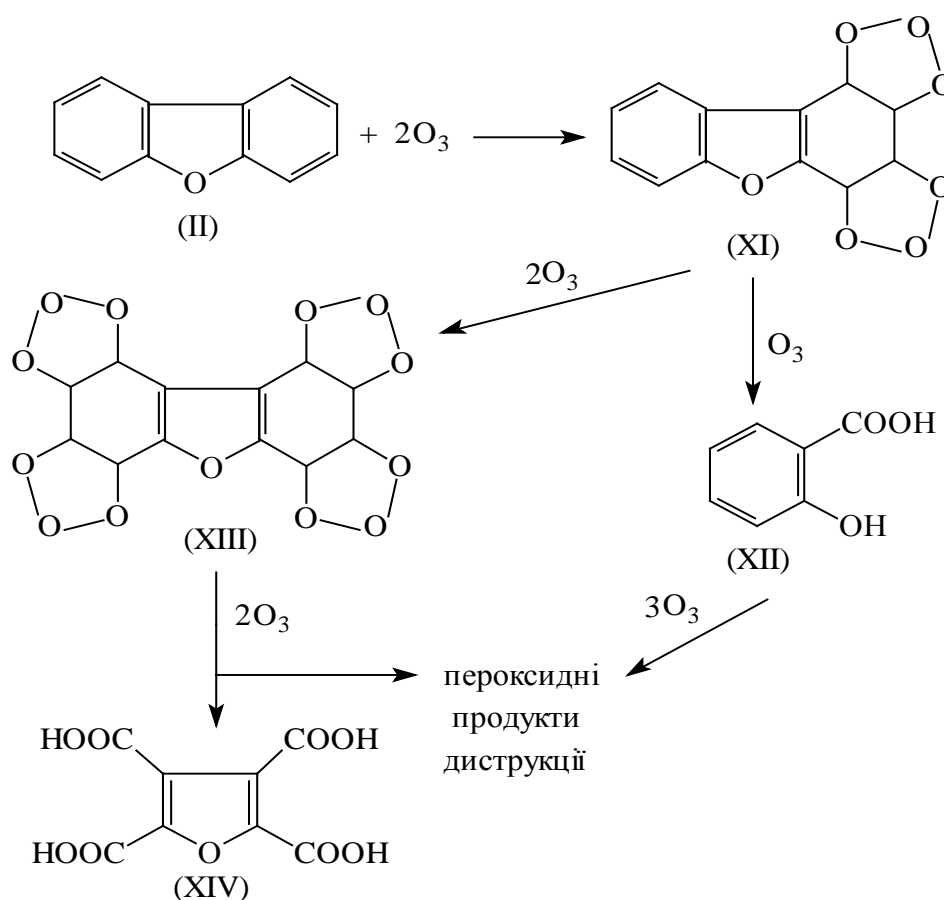
**Таблиця 1.** Стехіометричні характеристики взаємодії озону з фураном та його бензологами (I) та (II) у льодяній оцтовій кислоті при 290 К

$$[\text{AgN}]_0 = 1,0 \cdot 10^{-2} ; [\text{O}_3]_0 = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3$$

Гетарен	$\frac{\eta_{\text{екс}}, \text{ моль O}_3}{\text{ моль AgN}}$	Концентрація пероксидів, моль/дм <sup>3</sup> ·10 <sup>2</sup>		$\eta_{\text{эф}}, \text{ дм}^3/\text{ моль} \cdot \text{с}$
		після 1 години витримки	після 24 годин витримки	
фуран	1,91	1,03	1,88	$1,2 \cdot 10^3$
(I)	3,73	1,02	1,85	$2,1 \cdot 10^2$
(II)	5,63	1,92	1,78	0,9

При озонуванні гетарену (II) у розчині оцтової кислоти при 290 К на першій стадії перебігає електрофільна атака озону по подвійним зв'язкам одного з карбоциклів з поглинанням близько 2 моль озону на моль субстрату та утворенням діозоніду (XI), який надалі трансформується за двома напрямками відповідно до схеми 3.

Схема 3



За схемою 3 можливо руйнування карбоциклу, приєднання ще одного молю озону з розкриттям гетероциклу та утворенням саліцилової кислоти (XII), яка є проміжним продуктом (максимальна концентрація у суміші  $3,1 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>). Далі (XII) приєднує ще близько 3 молів озону з утворенням пероксидних продуктів деструкції. Перетворення саліцилової кислоти (XII) у пероксиди вірогідно перебігає за механізмом схожим з розкриттям циклу саліцилового альдегіду попередньо розглянутого у схемі 2.

За іншим напрямком діозонід (XI) приєднує ще 2 молі озону та трансформується у тетраозонід (XIII), який також є нестійким при подальшому вичерпному озонуванні руйнується з утворенням пероксидних продуктів озонолітичної деструкції, будова яких нами на даному етапі не досліджено. У продуктах озонування знайдено близько 16% фурантетракарбонової кислоти (XIV), яка може утворюватися при деструкції тетраозоніду (XIII).

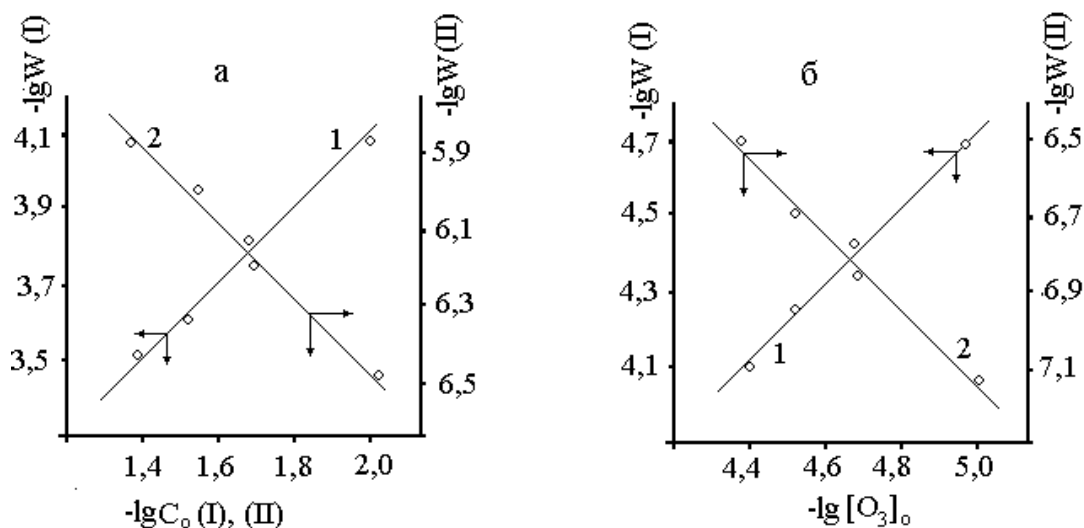
З максимальної концентрації (XII) у суміші можна зробити висновок, що перетворення діозоніду (XI) за напрямом утворення саліцилової кислоти перебігає на 30–35%, а з утворенням тетраозоніду (XIII) на 65%. Сумарний експериментально знайдений стехіометричний коефіцієнт озону  $n_{\text{екс}} = 5.63$  молів на моль дибензофурану (табл.).

Кінетику реакції сполук (I) та (II) з озоном в середовищі льодяної оцтової кислоти при 290 К вивчали, вимірюючи початкові швидкості витрачання озону на виході з реактора в газовій фазі [12]. Поточну концентрацію озону в рідкій фазі у реакції з (I) та (II) визначали на спектрофотометрі «Spektromom-202» за допомогою безградієнтного по газовій фазі реактора типу «каталітична качка».

Визначено, що кінетика витрачання озону у реакціях з гетаренами (I) та (II) підпорядковується бімолекулярного закону (рис.1) і має перший порядок по кожному з вихідних реагентів:

$$-\frac{d[O_3]}{dt} = k_{\text{еф}} \cdot [ArCH_3]_0 \cdot [O_3]_0 \quad (1)$$

де  $k_{\text{еф}}$  – ефективна константа швидкості реакції озону з (I) та (II), що враховує всі види взаємодії реагентів,  $\text{дм}^3/\text{моль} \cdot \text{с}$



**Рис.1.** Залежність швидкості окиснення ( $W$ ) від початкової концентрації гетаренів (I, II) (а) та  $O_3$  (б) у логорифмічних координатах при 290 К. 1 – (I), 2 – (II)

$V_{O_2} = 3.3 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^3/\text{с}$ ,  $[O_3]_0 = 4.0 \cdot 10^{-5} \text{ моль}/\text{дм}^3$  (а)  $[ArH]_0 = 0.01 \text{ моль}/\text{дм}^3$  (б)

Встановлено що, озон витрачається за неланцюговим механізмом. Припинення подачі озону до реакційної маси повністю зупиняє окиснення.

Відповідно до експериментальних даних (табл.) показано що аелювання в молекулу фурану бензольного ядра призводить до зниження реакційної здатності у реакції з озоном та зменшенню швидкості реакції у (I) майже на 1 порядки. Конденсація до молекули кумарину (I) ще одного бензольного ядра зменшує швидкість взаємодії озону з (II) на 2 порядки у порівнянні з (I) та на 3 порядки у порівнянні з фураном. Ефективна константа швидкості закономірно знижується в ряду фуран > (I) > (II).

## Висновки

1. Показано що при окисненні кумарону озоном у розчині оцтової кислоти на першій стадії перебігає швидка електрофільна атака озону по подвійному зв'язку (2-3) гетерокільця з утворенням  $\pi$ -комплексу, далі відбувається атака озону по атому карбону у  $\alpha$ -положенні з утворенням  $\sigma$ -комплексу, який переходить у озонід, що з розкриттям гетероциклу трансформується у саліциловий альдегід. Саліциловий альдегід є проміжною сполукою нестійкою до дії озону та може перетворюватись з розкриттям циклу по двом напрямкам.

2. При озонуванні дибензофурану на першій стадії перебігає атака озону по подвійним зв'язкам одного з карбоциклів з поглинанням близько 2 молів озону на моль субстрату та утворенням діозоніду, який надалі трансформується за двома напрямками з утворенням пероксидних продуктів деструкції та фурантетракарбоненової кислоти.

3. Кінетика витрачання озону у реакціях з наведеними гетаренами підпорядковується бімолекулярного закону і має перший порядок по кожному з вихідних реагентів. Ефективна константа швидкості знижується в ряду фуран > кумарон > дибензофуран.

### Перелік використаної літератури

1. Эльдерфилд Р. Гетероциклические соединения. Т. 2 // Р. Эльдерфилд. Пер. с англ. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1954. — 438 с.
2. Иванский В.И. Химия гетероциклических соединений // Иванский В.И. — М.: Высш. Школа, 1978. — 599 с.
3. Джоуль Дж. Основы химии гетероциклических соединений // Дж. Джоуль, Г. Смит. — М.: Мир, 1975. — 398 с.
4. Л. Пакет. Основы современной химии гетероциклических соединений // Л. Пакет. — М.: Мир, 1971. — 352 с.
5. Катрицкий А. Химия гетероциклических соединений // А. Катрицкий, Дж. Лаговская. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. — 288 с.
6. Комиссаров В.Д. Цепное разложение озона в системе  $\text{CH}_3\text{CHO}-\text{O}_3-\text{O}_2$  / Комиссаров В.Д., Комиссарова И.Н., Фарахова Г.Н., Денисов Е.Т. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1979. — № 6. — С. 1205–1212.
7. Witkop B. Quebrachamine / Witkop B. // J. Am. Chem. Soc. — 1957. — Vol. 79, № 12. — P. 3193–3200.
8. Bailey P. S. Ozonation in organic chemistry. Vol. 2, Nonolefinic Compounds./ Bailey P. S. // N-Y, L. Academic Press. — 1982. — 497 p.
9. P.Yu. Andreev. Reaction of Ozone with Five-Membered Heteroarenes in a Liquid Phase/ P.Yu. Andreev. // Russian Journal of Applied Chemistry. — 2012. — Vol. 85. — № 9. — P. 1395–1398.
10. Jibben B.P. The ozonation and the ozonolysis of furan and of some methylated furan in connection with the reactivities of the bonds in the ring system/ Jibben B.P., Wibaut J.P. // Rec. trav. chim. — 1960 — Vol. 79, № 4. — P. 342–360.
12. Разумовский С.Д. Озон и его реакции с органическими соединениями // Разумовский С.Д., Заиков Г.Е. — М.: Наука, 1974. — 322 с.
13. Bailey P. S. Complexes of ozone with carbon  $\pi$ -systems / Bailey P. S., Ward J. W. // J. Amer. Chem. Soc. — 1971. — V. 93. — P. 3552–3555.
14. Bailey P. S. Studies conceiving complexes of ozone with carbon system / Bailey P. S., Ward J. W., Carter T. P., Nich Jr. E., Ficher C. M., Khashab A-I. Y. // J. Amer. Chem. Soc. — 1974. — V. 96, № 14. — P. 6136–6140.
15. Эмануэль Н.М. Успехи химии органических перекисных соединений и аутоокисления // Эмануэль Н.М. — М.: Химия, 1969. — 495 с.

Надійшла до редколегії 27.11.2013.

### **П.Ю. Андреев, Э.В. Потапенко, И.П. Погорелова РЕАКЦИЯ ОКИСЛЕНИЯ КУМАРОНА И ДИБЕНЗОФУРАНА ОЗОНОМ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ**

*Исследованы реакции кумарона и дибензофурана с озоном в растворе уксусной кислоты. В качестве продуктов обнаружены пероксидные соединения, которые вероятно имеют линейное строение. Предложен механизм взаимодействия озона с приведенными гетаренами. Исследованы кинетические особенности озонолитических реакций гетаренив, найдены константы скорости, экспериментальные стехиометрические коэффициенты по озону.*

**Ключевые слова:** озон; уксусная кислота кумарон; дибензофуран; окисление; пероксиды; салициловый альдегид.

### **P.Yu. Andreev, E.V. Potapenko, I.P. Pogorelova THE OXIDATION REACTION OF COUMARONE AND DIBENZOFURANE WITH OZONE IN LIQUID PHASE**

*Study of the reactions coumarone and dibenzofurane with ozone in acetic acid solution. As the products found peroxide compounds that are likely to have a linear structure. The mechanism of the interaction of ozone with the above heteroarenes.*

*It is shown that oxidation of coumarone ozone in acetic acid in the first step proceeds fast electrophilic attack of ozone to the double bond (2-3) to form a heteroring  $\pi$ - complex is more ozone attack on the carbon atom in the  $\alpha$ - position to form a  $\sigma$ - complex which enters ozonides that opening heterocycle transformed into salicyl aldehyde. Salicylic aldehyde is an intermediate unstable ozone and can be converted into a ring-opening in two directions.*

*At the first ozonation stage dibenzofuran flows ozone attack at the double bonds of a carbocycle with absorption of about 2 moles of ozone per mole of substrate and form diozonida which subsequently transformed in two directions to form a peroxide decomposition products and furantetracarboxylic acid.*

*The kinetic features of the reactions ozonolytic hetarenes found the rate constants, the experimental stochiometric coefficients for ozone. Found that ozone is consumed by non-chain mechanism. Termination of feeding ozone into the reaction mixture stops the oxidation. The kinetics of the reactions of ozone in spending with the above subject hetarenes bimolecular law and is first order in each of the reactants. The effective rate constant decreases in the order furan > coumarone > dibenzofuran.*

**Keywords:** ozone; acetic acid, coumarone, dibenzofurane, oxidation, peroxide, salicylic aldehyde.

**Андрєв Павло Юрійович** – канд. хім. наук, доцент, доцент кафедри загальнохімічних дисциплін, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля; м. Рубіжне, Україна, тел. (06453) 7-11-70, E-mail: panyaa@rambler.ru

**Потапенко Едуард Володимирович** – канд. хім. наук, доцент, директор Інституту хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля; м. Рубіжне, Україна, тел. (06453) 5-01-56

**Погорєлова Ірина Петрівна** – канд. техн. наук; доцент кафедри загальнохімічних дисциплін; Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля; м. Рубіжне, Україна, тел. (06453)5-04-85

УДК 542.9437+544.431.15

**Ю.Е. Литвинов; О.В. Куц**, канд. хім. наук, ст.науч.сотр.; **М.А. Компанец**, канд. хім.наук; **А.А. Новохатько** (Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко НАН Украины)

## РЕАКЦИИ ФТАЛИМИД-N-ОКСИЛЬНОГО РАДИКАЛА С ПРОИЗВОДНЫМИ ФУРАНА

*Измерены константы скорости реакций отрыва атома водорода фталимид-N-оксильным радикалом от C-H связей гидроксиметильной и альдегидной групп фурановых соединений – 2,5-дифурфуролового спирта, 5-гидроксиметилфурфурола и 2,5-диформилфурана. Показано, что в условиях каталитического радикального окисления гидроксиметильная группа в фурановом кольце является значительно более реакционноспособной по сравнению с альдегидной.*

**Ключевые слова:** окисление, N-гидроксифталимид, фталимид-N-оксильный радикал, фурановые производные.

### Введение

В последние годы соединения фуранового ряда, получаемые из возобновляемого растительного сырья, представляют значительный интерес в качестве полупродуктов органического синтеза [1-2]. К таким соединениям относится 5-гидроксиметилфурфурол (HMF) [3], синтезируемый из моно-, ди- и полисахаридов (глюкоза, фруктоза, сахароза, крахмал, инулин). Продуктами окисления HMF являются 2,5-диформилфуран (DFF), 2,5-фурандикарбоновая кислота (FDA), 2,5-диметилфуран, 2,5-бис(гидроксиметил)фуран, левулиновая кислота и т.д. Наиболее ценные из них – DFF и FDA. DFF – исходное соединение для получения незамещенного фурана, фурфурола, оснований Шиффа, 2,5-бис(аминометил)фурана, который является альтернативой гексаметилендиамину при получении полиамидов. FDA в перспективе должна заменить мономеры нефтехимического происхождения – терефталевую,