



## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРОДУКТІВ ПЛАЗМОХІМІЧНИХ РЕАКТОРІВ (ГЕНЕРАТОРІВ ОЗОНУ) НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

Чапний М.В. к.т.н.,

Решетюк В.М. к.т.н.,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Осінов С.М. к.т.н.,

Співак В.М. к.т.н.,

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»*

Чапний В.М.

*АЕС Київобленерго*

Тел. (044) 527-83-82

**Анотація** - зроблено аналіз взаємодії озону та плодово-овочевої продукції з точки зору її знезараження. Отримано залежності розпаду озону утвореного генераторами озону з різними напругами іонізації. Отримано математичну модель зміни концентрації озону в сховищі під час озонування.

**Ключові слова** - іонізація, озонування, картопля, знезараження.

*Постановка проблеми.* Проблема підвищення збереженості плодово-овочевої продукції під час довготривалого зберігання потребує використання озону для обробки продукції. Вирішення проблеми пропонується досягти застосуванням обладнання, що використовується при зберіганні плодово-овочевої продукції та додаткового введення застосування озону в насипі плодово-овочевої продукції.

*Аналіз останніх досліджень.* За даними мікробіологічних досліджень [1], озон здатний вбивати всі відомі види грам позитивних і грам негативних бактерій, спори і вегетативні форми всіх відомих патогенних грибів.

*Формулювання мети статті.* Метою дослідження є зменшення непродуктивних витрат озону шляхом виявлення факторів, які треба оптимізувати при озонуванні плодово-овочевої продукції під час її зберігання.

*Основна частина.* У озону є одна особливість: його низькі дози стимулюють проростання стійких до будь-яких хімічних і фізичних дій мікроорганізмів, зокрема, «сплячих» спорових форм грибів, а високі - мають бактерицидну дію. Окрім того, озон взаємодіє тільки з поверхневими структурами клітин і не проникає вглиб. До того ж виявилось, що багатократні короточасні обробки різних видів плодів і овочів низькими дозами озону гальмують в них обмінні процеси, підвищують імунітет і знищують збудників хвороб. Ущільнюється і поверхневий шар овочів і фруктів, знижуючи швидкість випаровування води, а значить, продукція залишається соковитішою і довше зберігає свою біологічну цінність.

Встановлено [2, 3], що запах ароматних фруктів (наприклад, полуниці), посилюється у присутності озону. Тому утворення ароматів і запахів фруктів з їх характерним смаком йде активніше під впливом озону. Озонування повітря в овочесховищах усуває запахи пакувальних матеріалів, якими часто просочуються товари, що зберігаються (наприклад, у разі зберігання продуктів в дерев'яній упаковці в холодильниках при відносній вологості 85-90%). В більшості випадків сховища, товарні склади і рефрижератори можуть бути дезінфіковані за допомогою озону. Процес озонування окрім загальної дезінфекції дозволяє усунути (або, принаймні, частково приховати) неприємні запахи, що надходять від пакувального матеріалу, в результаті продуктам повертається їх природний звичний аромат.

Нижче стисло проаналізовано окремі аспекти застосування озону стосовно овочів і фруктів:

**Банани.** Посилений процес обміну речовин в бананах починається тільки в тих випадках, коли концентрації озону, що вводиться, достатньо високі. При підтримці концентрації озону між 25 і 30 ppm, через 8 днів на шкірці плоду з'являються чорні плями. При концентрації 30-90 ppm, дихальні процеси збільшуються, хоча сам процес дозрівання залишається незмінним.

**Апельсини.** При зберіганні апельсини нечутливі навіть до високої озонної концентрації (40 ppm) в сховищі. Їх дозрівання також сповільнюється через окислення етилену і інших продуктів обміну речовин.

**Ягоди.** Полуниця, малина і виноград схильні створювати цвілеві колонії в період зберігання. Ця тенденція може бути легко усунена способом введення озону концентрацією 2-3 ppm без збитку для якості і смаку, таким чином термін зберігання може бути збільшений удвічі.

**Яблука.** Залежно від сорту, ефект біологічної дії може бути виявлений тільки при зберіганні з концентрацією озону від 2 до 10 ppm. Експерименти, проведені в США показали, що якість більшості видів не погіршується навіть після холодного зберігання на протязі п'яти мі-

сяців при озоновій концентрації 2 ppm. Якщо концентрація злегка завищена, спостерігається погіршення смаку деяких сортів. Досліди показали, що ці фрукти не псуються протягом 17 днів при зберіганні в озоновій атмосфері при концентрації озону 3 ppm і температурі 278К. Зменшення концентрації не мало ніякого впливу на норму дихання фруктів.

Овочі. Вплив озону на овочі схожий з впливом на фрукти. Найбільш відомі досліди успішного озонування кольорової капусти що проводилися в Радянському Союзі. Застосування озонування значно інгібує розвиток фітопатогенної мікрофлори. Так, при дії озону зараження на поверхні картоплі знижується в 1,5-2 рази, в повітряному середовищі - в 10-12 разів. Вихід стандартної продукції підвищується на 5-7% без погіршення біохімічних і дегустаційних показників.

Картопля. В період зберігання в бульбах картоплі відбуваються процеси особливим чином і діють на його живильну цінність. Найважливішими з них є зміни у вуглеводному комплексному з'єднанні, вмісті вітамінів і в диханні бульб. У картопляних бульбах, що озонуються, зміст крохмалю і вітаміну С збільшується, тоді як вміст цукру зменшується. При цьому інтенсивність дихання залишається практично незмінною. При озонуванні колір, смак і консистенція бульб залишаються незмінними. Відмічено, що озонування затримує проростання картоплі і дозволяє подовжити термін його зберігання, не знижуючи посівних якостей.

Стосовно об'єктів зберігання та об'єктів знешкодження проведено багато розрізних досліджень і всі вони вимагають додаткового аналізу та узагальнення.

Відношення, на основі яких можуть бути визначені енергетичні характеристики процесу озонування, можна отримати із рівняння матеріального балансу озону. Припустимо, що за рахунок інтенсивного перемішування озоноповітряної суміші з забрудненим повітрям буде досягнута рівномірна концентрація озону в об'ємі обробленого повітря.

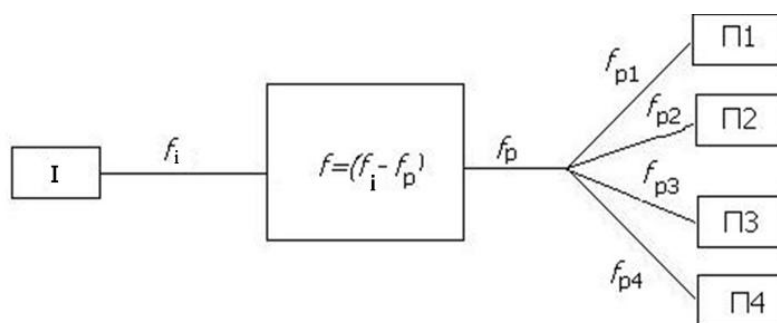


Рис.1. Схема поточного процесу озонування повітряного середовища.

Тоді рівняння матеріального балансу озону для елементарного інтервалу часу на основі схеми поточного процесу (рис. 1) буде мати вигляд

$$(\varphi_i - \varphi_{P1} - \varphi_{P2} - \varphi_{P3} - \varphi_{P4})d\tau = dn, \quad (1)$$

де  $\varphi_i$  – кількість озону, який надходить від озонатора;  
 $\varphi_{P1}$  – кількість озону, витраченого на процес обробки забрудненого повітря;

$\varphi_{P2}$  – кількість озону, що видаляється витяжною вентиляцією;

$\varphi_{P3}$  – кількість озону, яку поглинають бульби;

$\varphi_{P4}$  – кількість озону, що розклався;

$\Delta\Phi = n$  – кількість озону, яка лишилася в бункері.

Кількість озону, що надходить від озонатора, визначається його продуктивністю і тривалістю його роботи і відповідно дорівнює

$$\varphi_i = Q \cdot d\tau, \quad (2)$$

де  $Q$  – продуктивність озонатора;  
 $d\tau$  – елементарний інтервал часу роботи.

Характер взаємодії озону з повітряним середовищем залежить від концентрації озону, коефіцієнту його поглинання в середовищі. Отже, кількість озону, витраченого на обробку повітряного середовища, дорівнюватиме

$$\varphi_{P1} = k \cdot O_3 \cdot V \cdot d\tau, \quad (3)$$

де  $k$  - коефіцієнт поглинання озону;

$O_3$  - концентрація озону;

$V$  - об'єм приміщення.

Озон, видалений з повітряним потоком на виході зі сховища, визначається наступним виразом

$$\varphi_{P2} = N_b \cdot O_3 \cdot V \cdot d\tau, \quad (4)$$

де  $N_b$  - кратність повітрообміну витяжної вентиляції.

Кількість озону, яка поглинається в насипі бульби, пропорційна кількості повітря, що йде на дихання картоплі і концентрації озону

$$\varphi_{P3} = m \cdot V_k \cdot O_3 \cdot d\tau, \quad (5)$$

де  $m$  – кількість бульби в засіку;

$V_k$  - об'єм повітря, який витрачається на дихання картоплі в одиницю часу.

Кількість озону, що розклався самостійно, дорівнюватиме

$$\varphi_{p4} = \alpha_1 \cdot O_3 \cdot V \cdot d\tau, \quad (6)$$

де  $\alpha_1$  - коефіцієнт розкладання озону.

Озон, який залишився в повітрі, визначається наступним виразом

$$dn = dO_3 \cdot V, \quad (7)$$

де  $dO_3$  - зміна концентрації озону в об'ємі повітря, що обробляється.

Підставивши значення складових із (2) – (7) в рівняння (1) і перетворивши його, отримаємо

$$\frac{dO_3}{d\tau} = \frac{Q}{V} - O_3 \left( K + \alpha_1 + N_b + \frac{m \cdot V_k}{V} \right). \quad (8)$$

Звідки маємо

$$O_3 = \frac{Q}{V \left( K + \alpha_1 + N_b + \frac{m \cdot V_k}{V} \right)} \left\{ 1 - \exp \left[ -\tau \left( K + \alpha_1 + N_b + \frac{m \cdot V_k}{V} \right) \right] \right\}. \quad (9)$$

Для стаціонарного режиму, коли швидкість подачі озону в сховище дорівнює швидкості його витоків, концентрація буде визначатися наступним чином

$$O_3' = \frac{Q}{V \left( K + \alpha_1 + N_b + \frac{m \cdot V_k}{V} \right)}. \quad (10)$$

Оцінку енергетичній ефективності процесу можна здійснити введенням коефіцієнту „ $\eta_1$ ”, який рівний відношенню кількості корисного використаного озону в одиницю часу і кількості озону, що виробляє озонатор

$$\eta_1 = \frac{\varphi_{p1} + \varphi_{p2}}{\varphi_{II}} = \frac{O_3 (K \cdot V + m \cdot V_k)}{Q}. \quad (11)$$

Втрати озону будуть рівні нулю при  $\eta = 1,0$ , тобто, коли

$$O_3(K \cdot V + m \cdot V_k) = Q. \quad (12)$$

Умова (12) може бути виконана, якщо втрати з витяжною вентиляцією і дисоціації озону дорівнюватимуть нулю. Досягти цього в виробничих умовах не можливо, але знизити за рахунок герметизації приміщення і раціональної роботи вентиляції можна.

Для практичного використання отриманих рівнянь необхідно знати кількісні значення коефіцієнтів  $\alpha_1$ ,  $K$ .

Зміна концентрації озону в приміщенні відповідно рівнянню (9) визначається процесами поглинання озону за рахунок хімічних реакцій, дисоціації як нестійкого газу, поглинання бульбами і за рахунок витяжної вентиляції. Для дослідження процесів поглинання і розкладання озону приймемо, що втрати озону з витяжною вентиляцією і на дихання картоплі відсутні. Тоді можна записати наступні рівняння:

$$O_3^H = \frac{Q}{V(\alpha_1 + K)} \cdot (1 - \exp[-\tau(\alpha_1 + K)]), \quad (13)$$

$$O_3^C = O_3^H \exp[-\tau(\alpha_1 + K)], \quad (14)$$

де  $O_3^H$ ,  $O_3^C$  - концентрація наростання і спаду озону відповідно.

Для визначення коефіцієнтів поглинання і розкладання озону стосовно до картоплесховищ в виробничих умовах було отримано графічні залежності наростання та спадання концентрації озону.

Експериментально досліджено процеси наростання концентрації озону в сховищі.

Експеримент спланували таким чином, щоб для побудови кривої розгону було відмічено 25 точок. Криві розгону будували 5 разів у зв'язку з тим, що на об'єкт діє такий фактор, як розпад озону при його взаємодії з фітопатогенними мікробами. У зв'язку з цим крива, що позначена цифрою 5, отримана від першого ввімкнення озонатора, а кожна наступна від наступних ввімкнень з інтервалом через одну годину. Характеристики отримані після першого (крива 5) і останнього (крива 1) ввімкнення відрізнялися в усталеному режимі на  $2,2 \text{ мг/м}^3$ , що становить 13,75%. Таку розбіжність значень можна пояснити тим, що при першому ввімкненні більше озону витрачалося на знешкодження мікробів і грибів як в повітрі поміж бульбами так і на поверхні продукції, а при останньому ввімкненні продукція була максимально

можливо знезаражена. Отримані криві 1, 2, 3, 4, 5 представлені на рисунку 2. З отриманих значень концентрації озону в усталеному режимі можна зробити висновок, що 13,75% озону від загальної маси озону контактувало безпосередньо зі шкідливими мікроорганізмами в результаті чого відбувся його розпад. Таким чином виявлено, що при проточному озонуванні буде тільки 13,75% озону витратитися за призначенням (діє на об'єкт знешкодження), а весь інший озон (86,75%) буде витратитися непродуктивно.

Потім експериментальні данні для кривої 5 згладжували. Для згладжування експериментальних даних використали метод четвертих різностей.

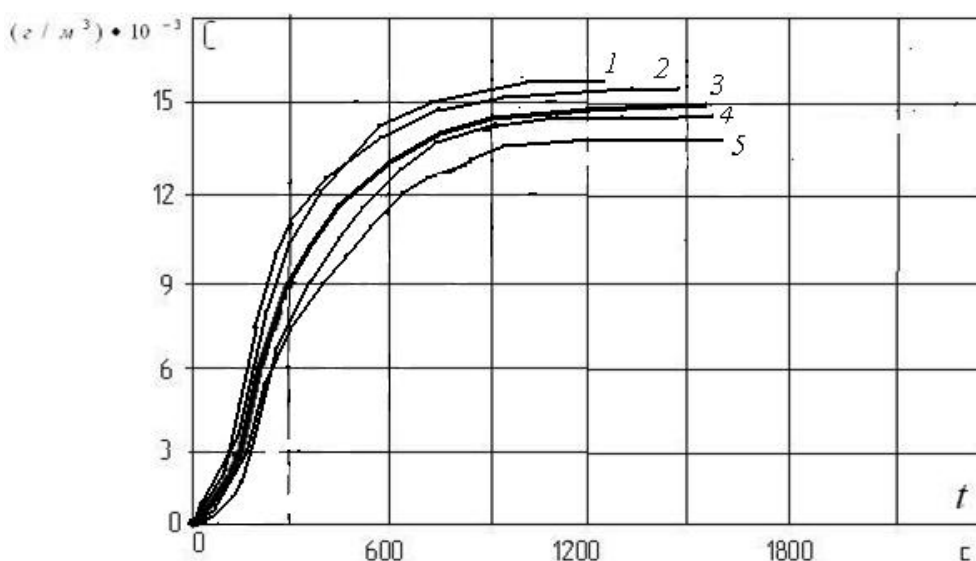


Рис.2. Розгінні характеристики об'єкту озонування.

В результаті розрахунків отримана результуюча крива розгінної характеристики об'єкта озонування яка представлена на рисунку 3, де точками позначені результати розрахунку, а суцільною лінією – згладжена крива.

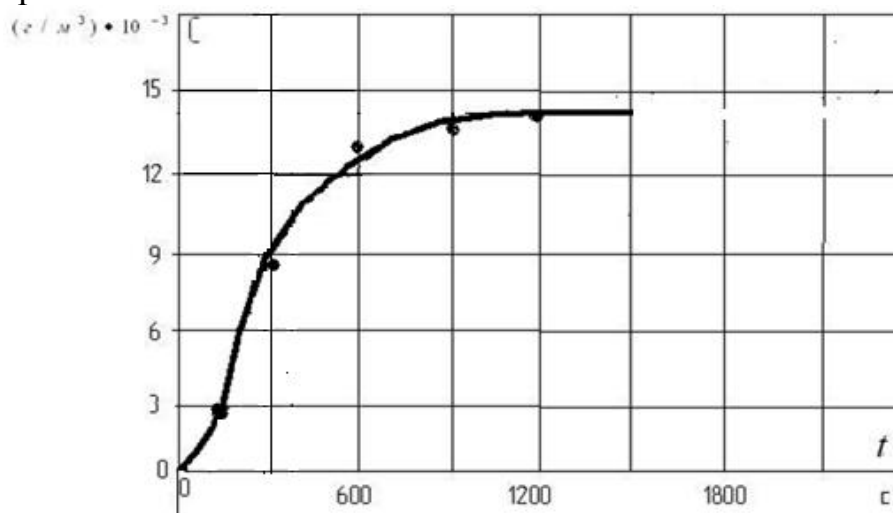


Рис.3. Зміна концентрації озону в камері з картоплею від часу роботи озонатора.

Після цього виконали нормування кривої розгону по формулі

$$h(t) = \frac{[C(t)]_i - [C(t)]_0}{[C(t)]_\infty - [C(t)]_0}, \quad (15)$$

де  $C(t_i)$  – концентрація озону в момент часу  $t_i$ ;

$[C(t)]_\infty$ ,  $C(t_0)$  – концентрація озону в моменти часу  $t_\infty$  та  $t_0$ .

По отриманим точкам побудували нормовану розгінну характеристику представлену на рисунку 4.

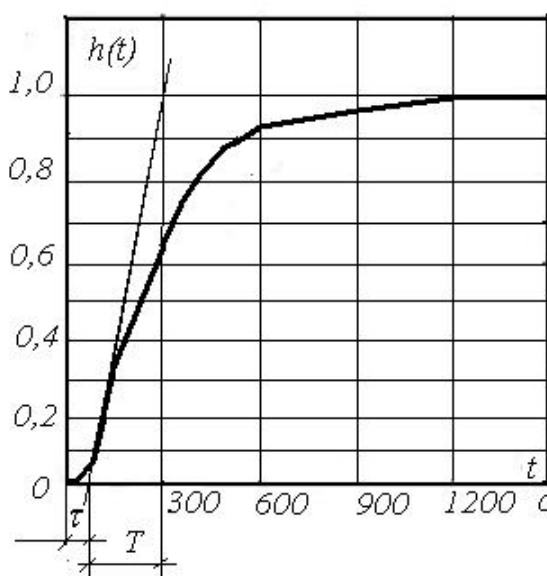


Рис.4. Нормована розгінна крива процесу озонування.

Для статичних об'єктів передаточна функція, що отримана по кривій розгону, представляється у вигляді

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1} e^{-\tau s}, \quad (16)$$

де  $T$  – постійна часу, с;

$k$  – коефіцієнт передачі об'єкта;

$\tau$  – час запізнення, с.

З графіка нормованої кривої знайшли:  $T = 250$ с,  $\tau = 50$ с.

Стосовно практично потрібних часових показників це означає, що концентрація озону в дальній точці продукції почне змінюватися через 50 секунд, а час досягнення усталеного значення концентрації озону відбудеться через  $(4,6 T)$ , тобто через 1150 секунд (19 хвилин)



після ввімкнення системи озонування. Коефіцієнт передачі об'єкта знаходимо з відношення сталого значення концентрації озону ( $\Delta C$ ) в сховищі до продуктивності озонатора ( $q$ )

$$k = \frac{\Delta C(\infty)}{\Delta q} = \frac{\frac{14\text{мг}}{\text{м}^3}}{0,012\text{мг/с}} = 1167.$$

Згідно даних представлених на рисунку 2 визначено коефіцієнт поглинання озону „ $K'$ ”.

За даними експерименту побудовані графічні залежності коефіцієнту „ $K'$ ” в часі (рис. 5). Зі збільшенням часу процесу озонування коефіцієнт „ $K'$ ” зменшується і досягає встановленого значення приблизно через одну годину роботи озонатора. Так, в початковий період коефіцієнт дорівнює 30,0...40,0, а в усталеному режимі 2,4...4,5.

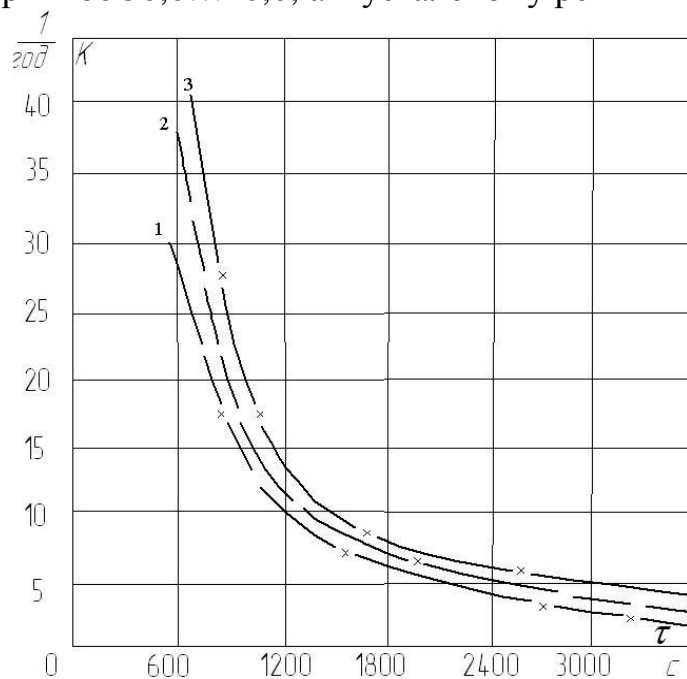


Рис. 5. Зміна коефіцієнта „ $K'$ ” в часі.

Для визначення коефіцієнту розкладу озону були проведені експериментальні дослідження спаду концентрації озону після 10 годин озонування сховища. Експериментальні криві залежності спаду концентрацій озону утвореного при різних напругах іонізації повітря наведена на рисунку 6 і рисунку 7.

З графіка, наведеного на рисунку 6, видно, що при першому ступені іонізації період напіврозпаду озону становить 360 секунд, а період розпаду до непродуктивної концентрації ( $0,01...0,03 \text{ мг/м}^3$ ) – 1200 секунд.

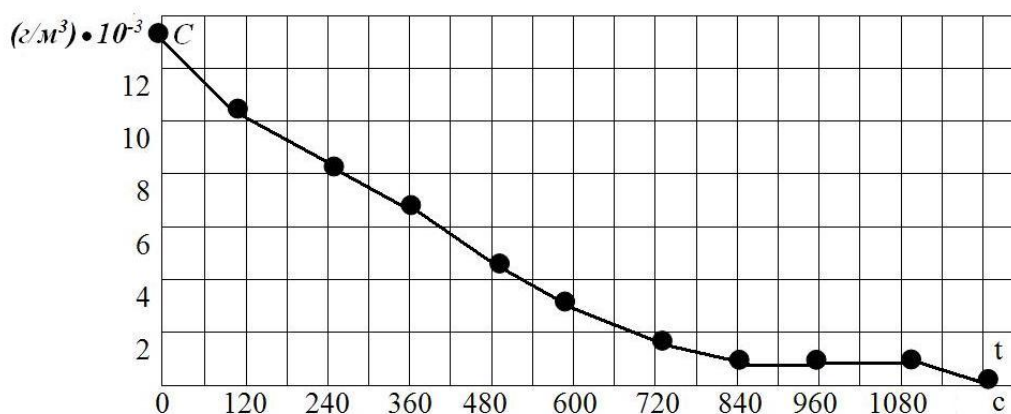


Рис. 6. Експериментальний графік розкладання озону утвореного при напрузі іонізації 3кВ.

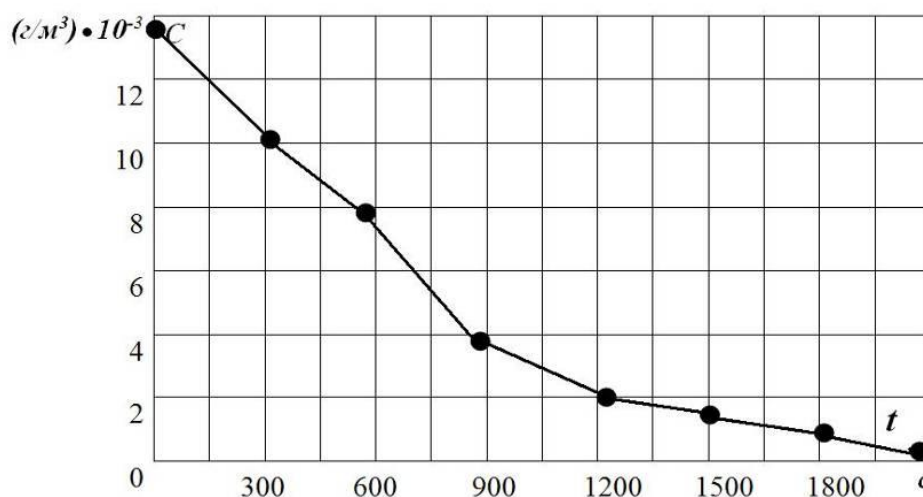


Рис.7. Експериментальний графік розкладання озону утвореного при напрузі іонізації 20 кВ.

З графіка, наведеного на рисунку 7, видно, що при другому ступені іонізації період напіврозпаду озону становить 600 секунд, а період розпаду до непродуктивної концентрації ( $0,01...0,03 \text{ мг}/\text{м}^3$ ) – 2100 секунд.

Експериментальні дослідження показали, що кількісні значення коефіцієнту розкладу озону змінюються з впливом часу (рис. 8).

В процесі розкладання озону величина його плавно зменшується і досягає стаціонарного рівня. Тривалість цього періоду складає 20...40 хвилин в залежності від напруги іонізації при якій отримано озон. Експерименти проводилися при вологості середовища 90-95% і температурі 2...4 °С.

Для з'ясування того, як величина напруги отримання озону впливає на коефіцієнт розкладання озону, було проведено експеримент (рис. 8).

Кривою на графіку 1 (рис.8) показано коефіцієнт розкладу озону, отриманому при напрузі іонізації 3кВ, а кривою 2 – при напрузі 20кВ.

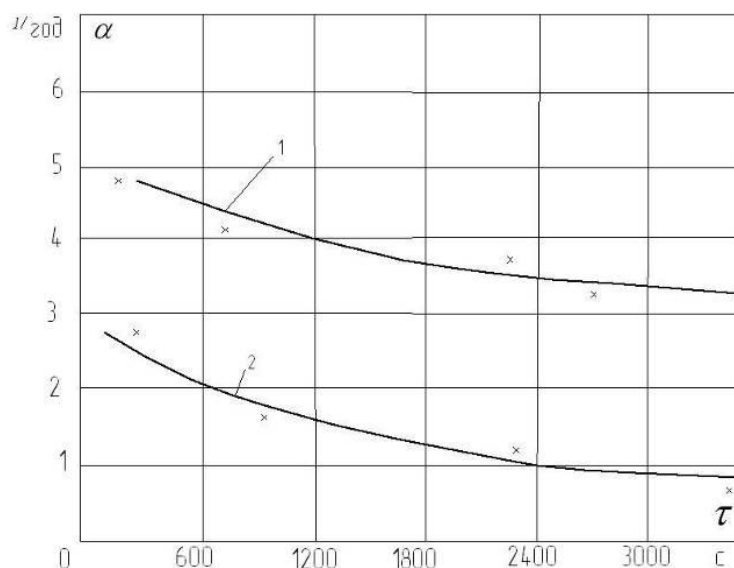


Рис.8. Графіки зміни коефіцієнта розкладу озона в часі.

Порівнюючи значення коефіцієнту „ $K'$ ” у встановленому режимі (3,4-3,8  $1/год$ ) при наростанні концентрації озону і значення коефіцієнту розкладання (в встановленому режимі (3,2-0,8  $1/год$ ) при спаді концентрації озону можна зробити висновок: при досягненні встановленого значення концентрації озону подальші витрати озону відбуваються за рахунок його дисоціації, як нестійкого газу.

#### Висновки.

1. При озонуванні продукції проточною вентиляцією непродуктивно витрачається 86,25% озону;
2. Коефіцієнт поглинання озону середовищем, що знешкоджується знаходиться в межах: в початковий період 30...40  $1/год$ , а у сталому режимі - 2,4...4,5  $1/год$ ;
3. Коефіцієнт розкладання озону знаходиться в межах: в початковий період 2,8...4,8  $1/год$ , а у сталому режимі – 0,8...3,2  $1/год$ ;
4. При першому ступені іонізації період напіврозпаду озону в сховищі становить 360 с;
5. При другому ступені іонізації період напіврозпаду озону в сховищі становить 600 с.

#### Література

1. Супонина Т.А. Применение озона при холодильном хранении картофеля / Т.А. Супонина: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Л.: ЛТИХП, 1979. - 22 с.
2. Гукалина Т.В. Влияние периодического действия озона на некоторые компоненты химического состава клубней картофеля / Гу-

калина Т.В., Коваленко Т.В., Бурова Т.Е. // Совершенствование методов холодильного консервирования пищевых продуктов - Л.: ЛТИХП, 1983. - С. 36-41.

3. *Крайнова Л.С.* Изучение изменения содержания некоторых макро- и микроэлементов в клубнях картофеля при хранении с применением озона / *Крайнова Л.С., Евдашкина В.И.* // Холодильная обработка и хранение пищевых продуктов. - Л., 1976, - С. 8-19.

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ (ГЕНЕРАТОРОВ ОЗОНА) НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ**

Чапный М.В., Решетюк В.М., Осинов С.М.,  
Спивак В.М., Чапный В.М.

***Аннотация*** – выполнен анализ взаимодействия озона и плодовоовощной продукции с точки зрения её обеззараживания. Получена зависимость разложения озона производимого генераторами озона с разными напряжениями ионизации. Получена математическая модель изменения концентрации озона в хранилище в процессе озонирования.

### **ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE PRODUCTS OF PLASMA-CHEMICAL REACTORS (OZONE GENERATORS) ON BIOLOGICAL OBJECTS**

M. Chapny, V. Reshetyuk, S. Osinov,  
V. Spivak, V. Chapny

#### ***Summary***

**Was made the analysis of the interaction between ozone and horticultural products from the standpoint of its disinfection. The dependence of ozone decomposition, produced by ozone generators, from different voltage of ionization was gotten. The mathematical model of the changes in the concentration of ozone in repository during the ozonation technology was gotten.**