

УДК 621.311:631.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ ПО ОЗОНУВАННЮ ПЛОДОООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Решетюк В.М. к.т.н.,
Шворов С.А. д.т.н.,
Чапний М.В. к.т.н.,
Чапний В.М. інженер.

Національний університет біоресурсів і природокористування України
Співак В.М. к.т.н.
*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут»*

Анотація – зроблено аналіз взаємодії озону та плодово-овочевої продукції з точки зору її знезараження. Отримано математичну модель зміни концентрації озону в сховищі під час озонування.

Ключові слова – озонування, зволоження, вентиляція, картопля.

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

Основна частина. Електротехнічний комплекс по озонуванню плодовоовочевої продукції укомплектовано складовими, що наводяться на рис.1.

За допомогою вентилятора повітря продувається крізь іонізатор, зволожувач та продукцію що зберігається.

Озонування плодоовочевої продукції при довготривалому зберіганні по технологічним вимогам для різних видів продукції має різні показники (таблиця 1).

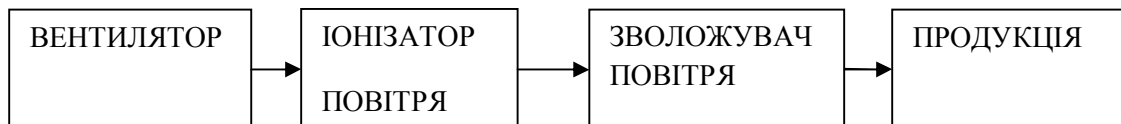


Рис.1. Структурна схема електротехнічного комплексу по озонуванню плодоовочевої продукції.

Таблиця 1 – Режими озонування плодоовочевої продукції при зберіганні

| Продукт | Концентрація озону, мг/м ³ | Час озонування на добу, години | Кількість обробок на тиждень |
|----------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Капуста | 7-13 | 4 | 1 |
| Морква | 5-15 | 4 | 3 дні поспіль 1 раз на місяць |
| Часник | 9-14 | 5 | 2 |
| Цибуля | 16-20 | 3 | 2 дні поспіль 2 раз на місяць |
| Виноград | 3-8 | 3 | 3 |
| Салат | 9-12 | 2 | 4 |
| Яблука | 4-9 | 5 | 2 |

Для картоплі.

В лікувальний період температура повітря +12... +18⁰С, відносна вологість повітря 80...90%, концентрація озону 25...30мг/м³, періодичність по 4 години кожні 3 доби.

В основний період температура повітря +2...+4⁰С, відносна вологість повітря 85...95%, концентрація озону 15...20мг/м³, періодичність по 4 години кожні 3 доби.

Як можна побачити з наведеного матеріалу концентрація озону і тривалість обробки ним має суттєві розбіжності (від 3 мг/м³ для винограду до 30 мг/м³ для картоплі в лікувальний період зберігання).

Як відомо з довідників по фізиці, щільність озону в 1,6 рази більша за щільність повітря. Тому можливе накопичення озону в нижніх шарах сховища безпосередньо в зоні розташування продукції. Треба підібрати таку швидкість потоку повітря крізь продукцію, щоб повітря виходило на зовні сховища, а озон осідав в сховищі. При цьому час

виходу значення концентрації озону на робочий рівень повинен бути меншим за час розкладу озону.

При виконанні озонування замкненого простору іонізатор повітря може забирати повітря як по схемі повної або часткової рециркуляції, так і по схемі використання для іонізації тільки зовнішнього повітря. Розглянемо ці варіанти. Перший, коли оброблений іонізатором газ буде знову потрапляти на вхід іонізатора. Для цієї умови масовий потік озону на виході іонізатора позначимо як mO_3 , а масовий потік кисню як mO_2 . В іонізаторі частина кисню під дією електричного поля високої напруги перетворюється на озон, коефіцієнт перетворення $\beta = \frac{m(O_3)}{m(O_2)}$. Якщо в іонізатор попадає повітря з озоном, то при

цих умовах загальний масовий потік озону на виході з зони іонізатора дорівнює сумі $m(O_3)$ та $\alpha m'(O_3)$, де α характеризує величину не розкладеного озону, що поступив на вихід іонізатора, причому $\alpha < 1$, $m'(O_3)$ – масовий потік озону на вході в іонізатор.

Таким чином, рівняння балансу для загальної маси озону $M(O_3)$ в сховищі можна представити наступним рівнянням

$$\frac{dM(O_3)}{dt} = m(O_3) + \alpha m'(O_3) - k[m(O_3) + \alpha m'(O_3)] - m'(O_3) - \lambda M(O_3), (1)$$

де mO_3 – масовий потік озону на виході іонізатора, кг/с;

$m'(O_3)$ – масовий потік озону на вході в іонізатор, кг/с;

$\alpha < 1$ – коефіцієнт збереженості озону, що пройшов крізь іонізатор;

M – загальна маса газу в сховищі, кг;

$\lambda = 0,693/T$ – константа розкладу озону в нормальних умовах, 1/с;

T – період напіврозпаду озону в сховищі, с;

k – константа поглинання озону в зволожувачі повітря.

Для спрощення подальших розрахунків представимо, що в комплексі відбувається ідеальне перемішування газу. В цих умовах можна записати співвідношення

$$\frac{m(O_2)}{Q} = \frac{M(O_2)}{M}; \quad \frac{m'(O_3)}{Q} = \frac{M(O_3)}{M},$$

де Q – масовий потік газу крізь іонізатор, кг/с.

Підставимо ці рівняння у співвідношення (1) та запишемо

$$\frac{dM(O_3)}{dt} = (1-k)\beta \frac{M_0(O_2) - M_0(O_3)}{M} Q + \alpha \frac{M(O_3)}{M} - \frac{M(O_3)}{M} Q - \lambda M(O_3), (2)$$

де $M_0(O_2)$ – масовий вміст кисню в повітрі, що поступає в іонізатор, кг.

Після виконання нескладних перетворень, рівняння (2) можна записати наступним чином

$$\frac{dM(O_3)}{dt} = (1-k)\beta Q \frac{M_0(O_2)}{M} - \left(\frac{1 + (1-k)\beta - \alpha}{M} Q + \lambda \right) M(O_3). (3)$$

Рівняння (3) має наступне рішення

$$M(O_3) = \frac{(1-k)\beta Q M_0(O_2)}{(1+(1-k)\beta - \alpha)Q + \lambda M} \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{1+(1-k)\beta - \alpha}{M} Q + \lambda \right) t \right] \right\} + M_0(O_2) \exp \left[- \left(\frac{1+(1-k)\beta - \alpha}{M} Q + \lambda \right) t \right]. \quad (4)$$

Параметром, що контролюється в процесі обробки плодоовочевої продукції є концентрація озону $C = \frac{M(O_3)}{V}$. Теоретично рівно вагове значення концентрації озону C_p в сховищі при працюючому електротехнічному комплексі можна отримати з рівняння (4) коли $t \rightarrow \infty$:

$$C_p = \frac{(1-k)\beta Q M_0(O_2)}{[(1+(1-k)\beta - \alpha)Q + \lambda M]V}. \quad (5)$$

В подальших розрахунках параметр λ приймаємо таким, що дорівнює $\lambda = 0,693/T$, де T – період напіврозпаду озону [1]. Величина T по різних джерелам має не однакові значення і в дійсності залежить від температури, тиску, складу газу (наявності в ньому різноманітних забруднень, їх концентрації та іншого). В нашому випадку має інтерес значення періоду напіврозпаду озону в сховищі плодоовочевою продукцією зі значенням температури $2...4^\circ\text{C}$, відносно вологістю повітря $85...95\%$ і нормальним тиском. Величина цього параметру визначалося експериментально для озону, отриманого при значеннях напруги на електродах 10кВ (світлі крапки) та 20кВ (темні крапки). Експериментальна крива зниження концентрації озону після вимкнення іонізатора в сховищі при нормальних умовах наведена на рис.2.

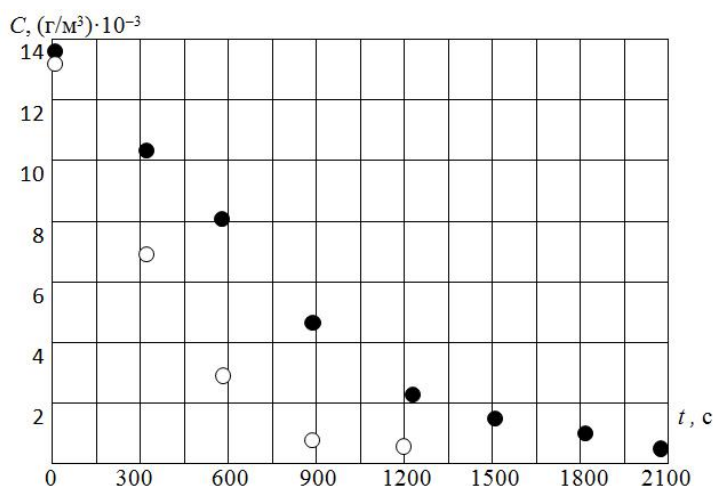


Рис.2. Графіки зниження концентрації озону в сховищі після вимкнення озонатора.

З графіків видно, що період напіврозпаду озону отриманого при напрузі на електродах 10кВ складає 300с , а при 20кВ – 675с .

Для проведення розрахунків необхідно визначити значення параметрів α і k , які відповідно характеризують ступінь розпаду озону який повторно потрапив в іонізатор і озону який пройшов крізь зволожувач. Значення цих коефіцієнтів буде залежати від конструкцій агрегатів, їх параметрів і принципу дії. Для визначення α проведено експеримент по зміні концентрації озону в боксі без картоплі та при відключеному зволожувачі. На рис. 3 наведена експериментальна крива динаміки концентрації озону в боксі об'ємом $0,042\text{м}^3$ з працюючим в ньому озонатором (пунктирна лінія). Характеристика озонатора наступна: концентрація озону на виході $C = 80\text{мг/м}^3$, продуктивність по озону $A=7\text{г/с}$, до електродів підведена напруга 20кВ . По формулі (4) були виконані розрахунки залежності концентрації озону від часу роботи іонізатора і вимкнутому зволожувачі повітря при різних значеннях $\alpha = (0; 0,5; 0,7; 1,0)$. Задовільне співпадання експериментальної (пунктирна лінія) та розрахункової (суцільна лінія) кривих спостерігається при значенні параметра $\alpha=0,7$ (рис.3).

$$C, (\text{г/м}^3) \cdot 10^{-3}$$

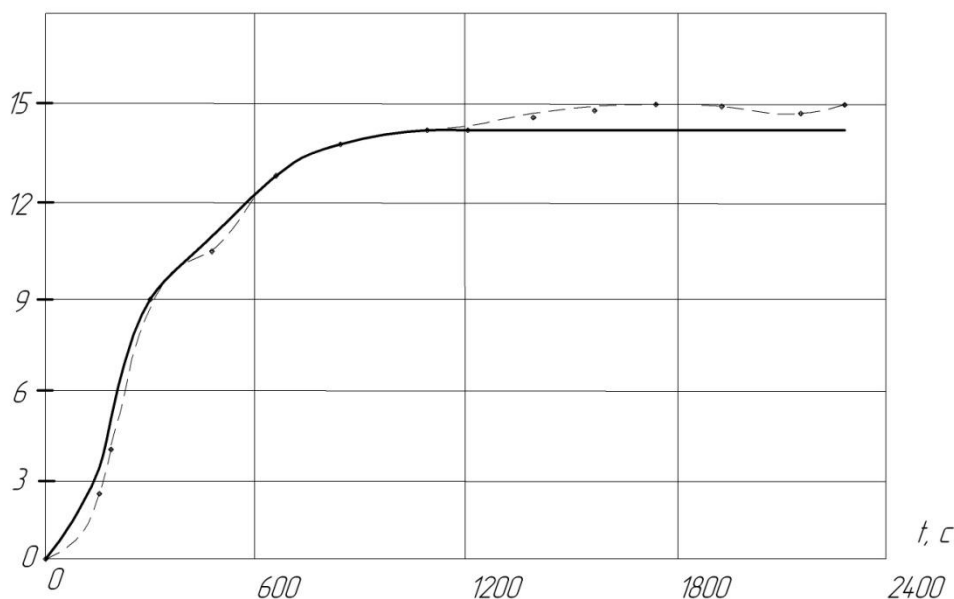


Рис.3. Зміна концентрації озону в сховищі від часу роботи озонатора.

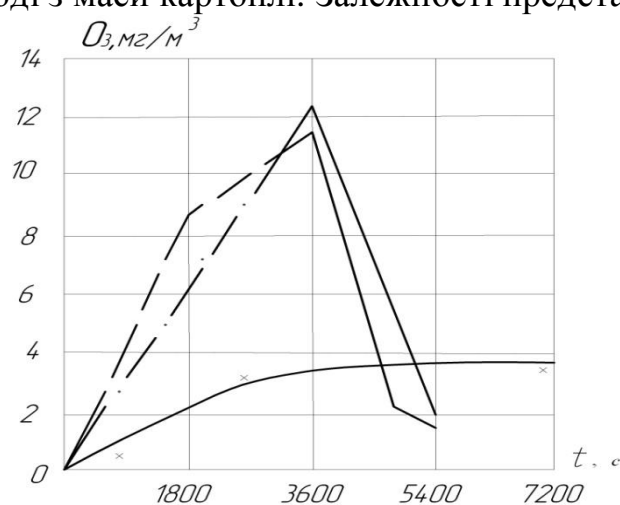
Аналіз кривих, що наведено на рис.3 показує, що спочатку концентрація озону росте пропорційно часу роботи іонізатора. Потім наростання концентрації озону уповільнюється в наслідок розпаду утвореного раніше озону і досягає сталого значення $14,8\text{мг/м}^3$ через 1200с .

Наступним кроком дослідження було визначення впливу зволожувача повітря на концентрацію озону в повітрі, яке пройшло крізь зволожувач. Для цього в боксі знизили концентрацію озону до природного фону (провітрюванням при вимкненому іонізаторі). Потім ввімкнули зволожувач повітря, іонізатор та вентилятор при відсутності ка-

ртоплі в боксі. При цьому з'ясували що зволожувач впливає на зміну концентрації озону в боксі, яка у встановленому режимі має значення $14,1 \text{ мг/м}^3$ але не впливає на час виходу на встановлений режим. Щоб визначити значення коефіцієнту k скористуємося експериментальними даними концентрації озону в сталому режимі з вимкнутим (С) та з ввімкнутим зволожувачем (C_{36}) по формулі

$$k = \frac{C - C_{36}}{C} = \frac{14,8 - 14,1}{14,8} \approx 0,047.$$

Для визначення коефіцієнтів поглинання озону насипом картоплі отримані графічні залежності наростання та спаду концентрації озону на виході з маси картоплі. Залежності представлені на рис. 4.



----- наростання концентрації озону, ————— спад концентрації озону

Рис. 4. Графічні залежності наростання та спаду концентрації озону.

З графіка, представленого на рис.4 видно, що час виходу на встановлений режим озонування збільшився з 1200 с до 3600 с , а концентрація озону в установленому режимі зменшилась з $14,1 \text{ мг/м}^3$ до 12 мг/м^3 . При цьому час розкладу озону зменшився з 2100 с до 1800 с . Це говорить про те, що поряд з природнім розкладом озону присутнє його поглинання насипом картоплі (бульбами, мікробами, грибками та іншими складовими насипу).

Тепер вираз (5) для випадку схеми рециркуляції повітря, набуде наступного вигляду

$$C_{p1} = \frac{0,953\beta Q M_0(O_2)}{[(0,3 + 0,953\beta)Q + 1,027 \cdot 10^{-3} M] V} \quad (6)$$

Якщо для отримання озону використовується схема надходження тільки зовнішнього повітря, тоді рівняння (5) у випадку відсутності викиду озону з повітрям назовні матиме наступний вигляд

$$C_{p2} = \frac{0,953\beta Q M_0(O_2)}{[0,953\beta Q + 1,027 \cdot 10^{-3} M] V} \quad (7)$$

а у випадку втрат озону через викид його з вентиляційним повітрям назовні

$$C_p = \frac{0,953\beta Q M_0(O_2)}{[(0,953\beta + 0,7)Q + 1,027 \cdot 10^{-3} M] V}. \quad (8)$$

Порівнюючи вирази (6), (7), (8) бачимо, що більша концентрація озону в боксі отримується тоді, коли для іонізації повітря подається тільки зовнішнє повітря та при цьому виключається можливість утилізації з боксу повітря з вмістом озону.

Висновки. Для запобігання викиду повітря з вмістом озону треба задати таку продуктивність вентилятора, щоб озон під своєю вагою за рахунок більшої в 1,6 рази аніж у повітря питомою вагою осідав в боксі.

Література

1. Супонина Т.А. Применение озона при холодильном хранении картофеля: автореф. дис. канд. техн. наук / Т.А.Супонина. – Л.: ЛТИХП, 1979. – 22 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ДЛЯ ОЗОНИРОВАНИЯ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

Решетюк В.М., Шворов С.А., Чапный М.В., Чапный В.М., Спивак В.М.

Аннотация

Выполнен анализ взаимодействия озона и плодоовощной продукции с точки зрения её обеззараживания. 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

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

Summary

Was made the analysis of the interaction between ozone and horticultural products from the standpoint of its disinfection. The mathematical model of the changes in the concentration of ozone in repository during the ozonation technology was gotten.