**Цуркан О. В.**

Д.Т.Н., доцент

**Полевода Ю. А.**

К. Т. Н., доцент

*Вінницький національний  
аграрний університет***Присяжнюк Д. В.**

К.Т.Н., викладач

*Відокремлений  
структурний підрозділ  
«Ладизинський фаховий  
коледж ВНАУ»***Tsurkan O.**Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor**Polievoda Y.**

PhD, Associate Professor

*Vinnitsia National Agrarian  
University***Prysiashniuk D.**

Ph.D., teacher

*Separated structural unit  
«Ladyzhyn Professional  
College of Vinnitsia  
National Agrarian  
University»***УДК 631.365****DOI: 10.37128/2306-8744-2021-3-2****РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ  
ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО  
ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ  
СИНТЕЗУ ОЗОНУ У ВІБРАЦІЙНІЙ  
СУШАРЦІ**

В статті проаналізовано особливості проведення сушіння зернової сировини з використанням вібраційної сушарки, в якій у якості сушильного агента виступає суміш підігерітого повітря у поєднанні з озоном певної концентрації. На основі проведеного аналізу з метою інтенсифікації даного процесу нами пропонується розробка високопродуктивного електронного пристрою синтезу озону.

У даному дослідженні розглядаються коливання, які збільшують і оновлюють поверхню теплообміну незалежно від способу підведення сушильного агента. Завдяки цьому інтенсифікується зняття вологи, збільшується швидкість сушіння. На основі проведеного пошуку і проаналізованого процесу вібраційного сушіння можна стверджувати, що в майбутньому будуть прогресувати дві основні тенденції їх розвитку. Це використання вібрації в поєднанні з дією озону на сировину, що поступає на сушку.

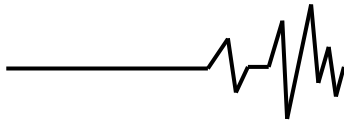
Озон взаємодіє з мембранною структурою клітин бактерій, грибів, структурною одиницею вірусів, що призводить до порушення її бар'єрної функції і їх загибелі. За бактеріцидною дією озонування перевершує дію ультрафіолетового кварцового опромінення. Бактерицидний ефект від кварцового опромінення протягом 60 хв ідентичний бактерицидному ефекту від дії озону протягом 3 хв. Озон має високу проникаючу здатність, а також проявляє антибактеріальну активність відносно грампозитивної флори, кишкової палички, епідермального стафілокока.

У статті розглянуто універсальність дії низькочастотних коливань на продукцію. Такий спосіб найбільш ефективний загальний для регулювання динамічного стану сировини, що обробляється. Проведений аналіз дозволяє запропонувати можливі рішення використання низькочастотних коливань для означених процесів та намітити перспективи їх застосування.

Проведений огляд існуючого обладнання для процесу сушки дозволив встановити недоліки сушильного обладнання, які полягають у неякісній обробці сировини. Доведено, що існуюче обладнання використовується із значними енерговитратами та високою вартістю.

Розглянуті в роботі конструкції і технології не повністю вичерпують можливості використання вібрації і озону, хоча свідчать про доцільність їх застосування і поєднання не тільки в аграрному виробництві, а й у інших галузях з метою інтенсифікації процесів і отримання якісної продукції.

**Ключові слова:** зернова сировина, процес сушіння, швидкість сушіння, сушильний агент, інтенсифікація, вібрація, озон, озоноповітряна суміш, продуктивність.



**Вступ.** Одним із перспективних методів підвищення швидкості сушіння є впровадження вібротехнологій. Вплив вібраційних коливань на шар матеріалу дає можливість його активного перемішування [1]. Траєкторія, частота і амплітуда коливного руху визначають інтенсивність руху частинок матеріалу. Коливання сушильної камери забезпечує розрихлення шару матеріалу і створює умови, при яких більша частина його поверхні бере участь в тепломасообміні з теплоносієм [2].

У роботах Т.П. Троцької [3] закладено основи енергозберігаючого сушіння зерна озонотеплоповітряною сумішшю (електроактивованим сушильним агентом). Автором висунутий ряд гіпотез механізму впливу повітря з вмістом озону на процес сушіння і здійснена спроба теоретичного обґрунтування тепло- і масообмінних процесів в присутності озону, а також впровадження озонотеплоповітряного сушіння в сільське господарство.

**Постановка проблеми.** Зростаючі обсяги виробництва зерна та підготовка необхідної кількості посівного матеріалу ставлять нові вимоги до техніки і технологій, що використовуються для післязбиральної обробки і, зокрема, сушіння сільськогосподарських культур.

Існуючі зерносушарки працюють неефективно, вони громіздкі, метало- та енергоємні, складні в обслуговуванні та ремонті і мають високу вартість.

Суттєво інтенсифікувати процес сушіння зернової сировини можна шляхом використання вібраційних технологій та обладнання у поєднанні із введенням до складу сушильного агенту озону.

Отже, розробка вібраційної сушарки із високопродуктивним електронним пристроєм синтезу озону, є актуальною проблемою.

**Мета дослідження.** Мета роботи – підвищення продуктивності технологічного процесу сушіння зернової сировини шляхом розробки високопродуктивного електронного пристрою синтезу озону, який буде використовуватись у вібраційній сушарці.

**Основні результати досліджень.** Одним із перспективних методів підвищення швидкості сушіння є впровадження вібротехнологій. Вплив вібраційних коливань на шар матеріалу дає можливість його активного перемішування [1]. Траєкторія, частота і амплітуда коливного руху визначають інтенсивність руху частинок матеріалу. Коливання сушильної камери забезпечує розрихлення шару матеріалу і створює умови, при яких більша частина його поверхні бере участь в тепломасообміні з теплоносієм [2].

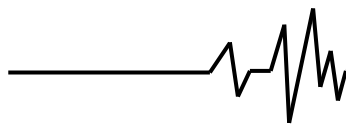
Вібраційні коливання збільшують і оновлюють поверхню теплообміну незалежно від способу підведення сушильного агенту, відбувається інтенсивне зняття вологи, збільшується швидкість сушіння. Процес сушіння відбувається рівномірно по всьому шару, не викликаючи місцевий перегрів матеріалу. Вібраційне сушіння є потужним засобом температурного регулювання процесу, що особливо важливо для термочутливих матеріалів.

Аналіз процесу вібраційного сушіння, технічних характеристик і конструктивних особливостей різних типів вібраційних сушарок свідчить про те, що намітилися дві основні тенденції їх розвитку. По-перше, за рахунок вдалих конструктивних рішень (організації збуджуючих коливань, способу нагрівання продукції, поєднання технологічних функцій перемішування, сушіння, поділу на фракції, транспортування) поліпшуються загальні техніко-економічні показники процесу. По-друге, інтенсифікація тепломасообмінних процесів дозволяє докорінно змінити підходи до організації процесу сушіння взагалі, а також створює можливості сушіння продукції, до якої висуваються надзвичайно високі, часто взаємовиключні (суперечливі) вимоги для потреб різних галузей виробництва [2].

Потреби в якісній сировині, а також економічно продиктована необхідність підвищення основних показників виробництва ставлять вимоги до створення нових технологій сушіння, які враховували б фізико-хімічні, біологічні, харчові, смакові якості продукції, а також забезпечували б її подальше збереження. Процес сушіння повинен повністю виключити такі негативні чинники, як клейстеризацію крохмалю і денатурізацію білків, утворення конгломератів і погіршення смакових якостей, а також розмноження хворобі і шкідників.

Сушіння зернової сировини з допомогою озонотеплоповітряної суміші має ряд особливостей. В перший період сушіння частина озону вступає в окислювальні реакції на поверхні зерна з органічними і неорганічними речовинами, очищаючи поверхню матеріалу [4]. Опір потоку вологи зменшується. З іншого боку частина поверхневої вологи витрачається на реакцію з утвореними озонідами.

При проходженні через зернову масу озон розкладається на  $O_2$  і  $O$ , виділяючи теплоту, рівну 142 кДж/моль. Атомарний кисень зв'язує вологу навколо себе у вигляді крапель, які виносяться потоком повітря. Після видалення поверхневої вологи озон може впливати на проникність клітинних мембран, а присутність атомарного кисню сприяє руху



вологи з клітин назовні.

Наступний етап сушіння – відведення сорбційно-зв'язаної вологи. На цьому етапі велику роль відіграють теплота, що виділяється при розпаді озону, присутність атомарного кисню та іонів різної полярності. Електричні сили можуть сприяти ослабленню дипольних зв'язків молекул води з клітинами зернової сировини. Все це істотно впливає на швидкість сушіння зерна в цей період [3].

В зерні та харчових продуктах волога перебуває у зв'язаному стані, тобто приймає участь в процесах життєдіяльності. Форми зв'язку у них різноманітні і для їх руйнування потрібна велика кількість енергії.

При направленні озону на поверхню рослинного матеріалу, виникають вільнорадикальні процеси, які швидко поширюються у внутрішніх тканинах. По суті це зводиться до передачі енергії, яка вивільняється на молекулярних мішенях верхнього шару зернівки або харчового продукту, у внутрішні тканини і, звичайно, змінюється сумарний енергетичний потенціал. При чому частина надлишкової енергії витрачається на фізико-хімічні перетворення, внаслідок яких змінюється структура клітинних мембран, окислювально-відновлювальний потенціал, іонна проникність та інші властивості клітини. Частина енергії перетворюється в тепло, що прискорює розвиток наступних процесів.

Якщо процес сушіння зернової сировини в озоні повітряному середовищі спостерігати в мікроскоп, то можна чітко побачити, як накопичується міжклітинна вода і зменшуються контури клітин. Але ці пошкодження нестійкі і через декілька годин вони відновлюються.

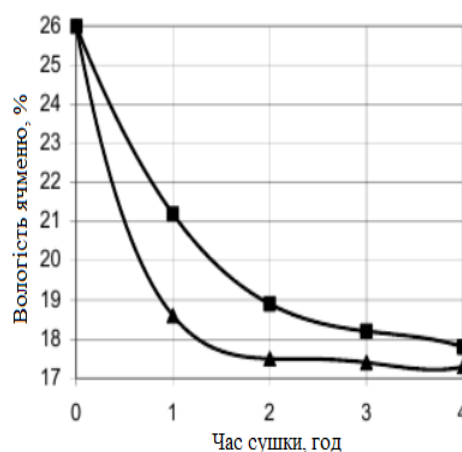
Взаємодія озону з рослинним матеріалом спричиняє в ньому зменшення енергетичного рівня зв'язків вологи, а також вносить свою частку в інтенсифікацію тепломасообміну. Встановлено, що масообмінні процеси прискорюються за рахунок того, що підвищується вологовіддача матеріалу на основі біохімічних, фізико-хімічних процесів, і збільшується вологоутримуюча здатність сушильного агента [3, 11].

Озоні повітряне сушіння також попереджує розвиток патогенної мікрофлори. Результативність дії озону на фітопатогенну мікрофлору, біохімічні процеси, агротехнічні показники матеріалу та інші властивості залежить від обраного режиму обробки, а також від виду матеріалу. Концентрація озону  $10 \text{ мг/м}^3$  і вище дозволяє зменшити інтенсивність дихання зерна із самого початку процесу сушіння, чим перешкоджає розвитку процесу самозігрівання з послідовними позитивними

ефектами: підвищенням збереження сухої речовини, настанням більш глибокого стану спокою при зберіганні.

Озоно-повітряна суміш, яка використовується в якості сушильного агента впливає на поверхневу мікрофлору не тільки завдяки зниженню вологості, але і завдяки знезаражуючій дії озону, яка обумовлена його концентрацією і температурним режимом сушіння. Використовуючи озонований сушильний агент концентрацією  $8-10 \text{ мг/м}^3$  можна досягти зберігання і навіть покращення якісних показників. При цьому кількісний показник фітопатогенної мікрофлори зменшується, в порівнянні з тепловою у 2,2 рази. Також зменшується кількість пліснявих грибків і бактерій в залежності від концентрації озону та початкової зараженості. Плісняві гриби при концентрації  $10 \text{ мг/м}^3$  зникають на початку сушіння продуктів [4].

Так наприклад, були проведені дослідження по сушінню ячменю із застосуванням підігрітого повітря (рис. 1) та із застосуванням в якості холодоагенту озоні повітряної суміші [4]. З рисунка видно, що вплив озону дає змогу інтенсифікувати процес сушки в порівнянні із класичними методами.

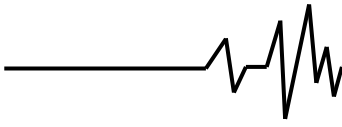


▲ Сушка із застосуванням озону ■ Сушка підігрітим повітрям

**Рис. 1 – Кінематична залежність зміни вологості ячменю**

Слід зазначити, що при озоні повітряному сушінні продуктів некротичні зміни в рослинному матеріалі практично відсутні. Після закінчення сушіння вже через 3-18 год відновлюються клітинні мембрани і пошкоджений покривний шар. Продукція, яка оброблена при концентраціях до  $40 \text{ мг/м}^3$ , не позбавляється своєї біологічної цінності. Вживання цієї продукції людиною не викликає в її організмі гістологічних і морфологічних змін.

Також використання озону позитивно впливає на процеси в самому насінні зерна. Умовно структура насіння представлена в



роботі [5]. Ця структурна схема представляє із себе взаємозв'язок внутрішньої енергії насіння і енергії процесів, що відбуваються в ньому в періоди зберігання, сходів та росту.

Механізм збільшення енергопродуктивності за рахунок поглинання рослинами озонотвільної суміші в даний час знаходиться в стадії вивчення. У теоретичних дослідженнях ми виходимо з того, що насіння рослин володіє резервом енергії, яка акумулюється в поживних тканинах насіння, від її кількості залежить енерговміст врожаю. На ранніх етапах вона є живильним субстратом для насіння. У зерні пшениці, резервною енергією є ендосперм. Енергія для росту проростків звільняється при гідролізі вуглеводних запасів.

Вивільнення енергії з органічних сполук відбувається під впливом температури і вологості. Помістивши насіння в озонотвільне середовище, ми створюємо сприятливі умови для вивільнення резервної енергії, тобто для гідролізу вуглеводного субстрату. Озон впливає на енергетичний запас, який акумулюється в поживних тканинах насіння. При нагріванні зволоженого насіння ми запускаємо механізм вивільнення енергії, тобто гідролізу вуглеводу. Енергія запасу витрачається на ріст і обмін речовин в біологічному організмі.

Після появи проростків, до повного розвитку рослини, її ріст і розвиток обумовлені потоком енергії з насіння. Енергія росту витрачається на формування та накопичення сухої речовини рослини, а також на перенесення продуктів, утворених в результаті фотосинтезу рослин. Енергія активного блоку розподіляється наступним чином: частина її йде на запас енергії (акумулюється в вуглеводи), частина утилізується. У процесі формування сухої речовини рослин частина енергії витрачається на процеси, пов'язані з диханням.

З динамічної моделі збільшення енергопродуктивності видно, що енергетичний потенціал рослини формується в процесі обробки насіння озоном, фотосинтезу, росту і розвитку рослини. Ріст є своєрідним біологічним двигуном і регулятором, що підсилює або послаблює процеси формування, обміну і пересування речовин в організмі. В життєвому циклі рослин виділяють два періоди: формування вегетативної сфери рослин (коренів, стебел, листя) і формування генеративної сфери (суцвіть, квіток і органів розмноження – плодів і насіння) [6].

Ріст рослин тісно пов'язаний з фізіологічними процесами: живленням, фотосинтезом, водообміном тощо. На їх інтенсивність певним чином впливає озонування насіння перед проростанням. В літературі відсутні дані, що характеризують оптимальний режим впливу озону на зростання і врожай рослин.

При передпосівному впливі озону на насіння пшениці рослини відрізняються швидким ростом і до VIII-IX етапів органогенезу помітно перевищують рослини контрольного варіанту [7].

При передпосівному впливі озону формується не тільки велика листовая площа, але і підвищуються темпи розвитку асиміляційної поверхні у порівнянні з рослинами контрольного варіанту. Отже, озон можна використовувати в якості фактора, що підвищує господарську повноцінність фотосинтезу. Підтвердженням цього служить більше накопичення сухих речовин при передпосівному впливі.

На ранніх етапах розвитку рослин різниця по накопиченню сухих речовин між дослідними і контрольними варіантами більше, ніж на пізніх. Так, різниця за цим показником може становити від 14 до 33% [7].

Ріст і розвиток рослин пов'язані один з одним, визначаються особливостями організму і знаходяться в тісній залежності від факторів середовища. За даними В.Н. Лисова [8], рослини кожної еколого-географічної групи (екогрупи) характеризуються певними кількісними ознаками, схильними до коливань, один з яких – висота головного стебла.

Чим вище адаптація у рослин, тим менше межі коливань показників росту по роках у сортів і зразків. Інтенсивність ростових процесів в значній мірі обумовлена кліматичними факторами, проте сорти і зразки різного географічного походження характеризуються власними темпами зростання і своєрідною реакцією. Інтенсивний приріст спостерігається починаючи з III-IV етапів органогенезу і триває до VII-VIII етапів, потім ростові процеси сповільнюються [7].

Знаючи, що вплив озону позитивно впливає на органогенез рослини і прискорює її розвиток можна припустити, що оброблене насіння буде більш стійким до зміни навколишнього середовища, а отже адаптивна стійкість збільшиться.

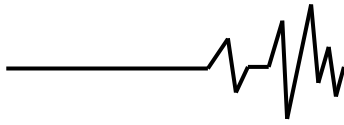
Схожість насіння є одним з найважливіших показників продуктивності насіння і його якості. За схожості насіння можна прогнозувати майбутню врожайність. Тому важливою задачею є визначення впливу озонотвільної суміші на схожість насінневого матеріалу. Можна припустити, що внутрішня енергія насіння є функцією від енергетичного балансу насіння:

$$Y = f(W), \quad (1)$$

де  $Y$  – схожість насіння досліджуваного виду;

$W$  – енергетичний баланс насіння.

У свою чергу енергетичний баланс рослини можна представити в наступному вигляді:



$$W = W_S + W_R + W_A - W_J - W_O, \quad (2)$$

де  $W_S$  – енергія, що переходить в запас поживних речовин, ккал/кг;

$W_R$  – енергія росту рослин, МДж/кг;

$W_A$  – енергія, спрямована на накопичення продуктів асиміляції, МДж/кг;

$W_J$  – енергія, що витрачається на формування сухої речовини, МДж/кг;

$W_O$  – енергія, пов'язана з диханням і обміном речовин, МДж/кг.

Енергетичний баланс насіння при впливі озонотвірної суміші :

$$W' = W_{O_3} + W_S + W_R + W_A - W_J - W_O, \quad (3)$$

де  $W_{O_3}$  – енергія, що надходить в насіння за рахунок впливу озону, МДж/кг.

Розглянувши рівняння енергетичних балансів насіння, ми бачимо, що вони відрізняються на величину  $W_{O_3}$ , отже, приріст схожості буде залежати від величини відношення цих складових:

$$Y' = f \left( \frac{W_{O_3} + W_S + W_R + W_A - W_J - W_O}{W_S + W_R + W_A - W_J - W_O} \right). \quad (4)$$

Даний приріст енергії можна пояснити наступним – насінню рослин, як і всьому живому, для підтримки життєвих функцій необхідно отримувати енергію. Даний приріст енергії можна розглянути як енергію, отриману в процесі утворення озону. У відомій праці С.В. Вербицької «Передпосівна обробка насіння квасолі озonom і магнітним полем» [9] наведено розрахунок енергії утворення озону в бар'єрному розряді. Відповідно до рівнянь, наведеними в роботі [7] енергія, що отримується, в процесі утворення озону буде визначатися за формулою:

$$W_{O_3} = \frac{I_n}{n_0} \cdot \frac{J}{e \cdot (n_+ \mu_+ + n_- \mu_- + n_e \mu_e)} \cdot \frac{\lambda}{\delta}, \quad (5)$$

де  $n_0$  – максимальна кількість пар протилежно заряджених частинок, що утворюються в одиниці об'єму;

$e$  – заряд електрона;

$\mu_e$  – рухливість електронів;

$n_+, n_-$  – щільності позитивних і негативних іонів;

$n_e$  – щільність електронів;

$\lambda$  – середня довжина вільного пробігу електронів в газі;

$\delta$  – коефіцієнт, що враховує частку енергії, яка віддається при зіткненні з часткою;

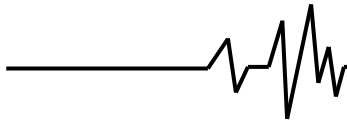
$J$  – щільність струму;

$I_n$  – номінальний струм генератора озону.

Дана формула містить невідомі змінні, що ускладнює розрахунок. У зв'язку з цим необхідно використовувати інші способи визначення енергії утворення озону, наприклад проведення експерименту. Основну масу білка, більше 80% в зрілому зерні становлять спирторозчинні фракції – зеїн і лугорозчинні – глютелін. Ці білки є енергетичними запасами ендосперму поряд з крохмалем, якого в зерні понад 70%. Дані енергетичні запаси використовуються рослиною при проростанні насіння до виходу проростка на поверхню ґрунту. При посіві насіння у вологий, прогрітий ґрунт запасні енергетичні речовини розпадаються на більш прості елементи. Зеїн білка розкладається на вільні амінокислоти, крохмаль – на полісахариди, Озон, впливаючи на насіння, провокує розпад запасних енергетичних речовин. Як показують лабораторні дослідження; насіння, оброблене озоном, проростає дружно з підвищеною енергією, що вказує на сильну дію озону, по ефективності аналогічну стимуляторам росту. Прискорюючи процеси розкладання складних білків і крохмалю на складові елементи, озон, будучи сильним окислювачем, одночасно діє як ефективний протруйник, що знищує інфекцію фузаріозу, сажкових грибів.

Озон пригнічує дихання насіння і, отже, оброблене насіння до посіву зберігає більший запас поживних речовин, ніж необроблене.

На основі аналізу перспективності використання вібротехнологій та технологій озонування було розроблено та виготовлено віброозонуючий комплекс [10] для сушіння зернової сировини, в якому в якості сушильного агента виступала суміш підігрітого повітря у поєднанні із озоном певної концентрації, який генерувався електронним пристроєм синтезу озону (рис. 2), а саме трубчастим озонатором.



а)

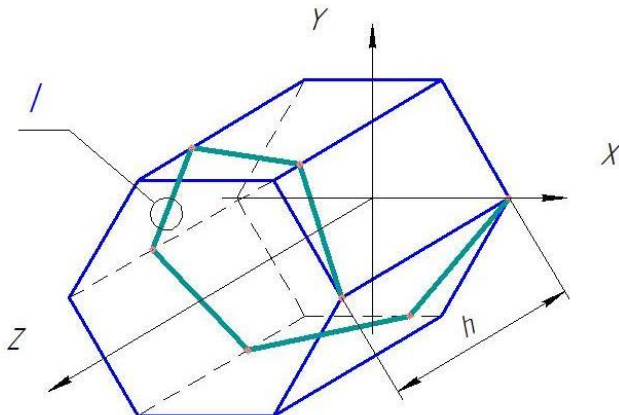


б)

а – загальний вигляд; б – робоча камера  
**Рис. 2 – Трубчастий озонатор**

З метою інтенсифікації процесу сушіння зернової сировини нами пропонується підвищення продуктивності трубчастого озонатора за рахунок збільшення неоднорідності напруженості електричного поля між електродом із зовнішнього боку діелектричного елемента і електродом з внутрішньої сторони діелектричного елемента.

Поставлена задача вирішується тим, що електрод із внутрішньої сторони діелектричного елемента пропонується виготовити у вигляді металевої стрічки з гостроконечними кінцями,

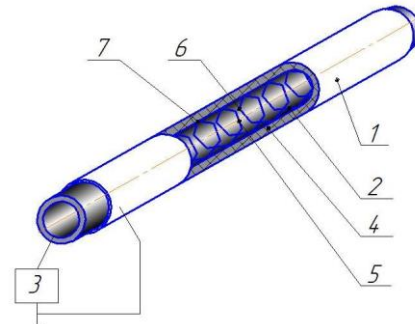


**Рис. 4 – Електрод із внутрішньої сторони діелектричного елемента у вигляді металевої стрічки з гостроконечними кінцями**

Металева стрічка внутрішнього електроду 2 являє собою послідовно з'єднані правильні багатокутники 5, розімкнуті в одній з вершин зі зміщенням  $h$  розімкнутих сторін, відповідним кроку спіралі. Кожна вершина 6 багатокутника 5 в точках 7 контактує з внутрішньою поверхнею по всій довжині

навитої на стержень тригранної, чотиригранної, п'ятигранної і т.д. призми, який являє собою розімкнутий багатокутник, а саме, шестикутник.

На рис. 3 зображена робоча камера розробленого трубчастого озонатора.

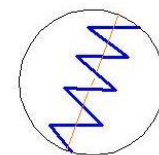


1, 2 – електроди; 3 – джерело змінного струму; 4 – трубчастий діелектричний елемент; 5 – правильні багатокутники; 6 – вершини багатокутників, 7 – точки контакту електроду 2 з внутрішньою поверхнею діелектричного елемента

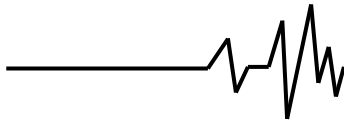
**Рис. 3 – Схема робочої камери розробленого трубчастого озонатора**

Трубчастий озонатор містить коаксіально розташовані електроди 1 і 2, які підключені до джерела змінного струму 3, та трубчастого діелектричного елемента між ними 4. Електрод 1 виконаний суцільним з зовнішньої сторони трубчастого діелектричного елемента 4. Електрод 2 виконано у вигляді металевої стрічки з гостроконечними кінцями і розташовано з внутрішньої сторони діелектричного елемента 4 (рис. 4).

*Вид 1  
(збільшено)*



трубчастого діелектричного елемента 4. Металева стрічка внутрішнього електроду має гостроконечні кінці і виконана навивкою на призматичний стержень, який надає їй форму ламаної лінії 5, середина кожного прямолінійного відрізка якої має найбільше віддалення від внутрішньої поверхні



трубчастого діелектричного елемента 4, забезпечує утворення зазору, що змінює свою величину від нуля в точці контакту 7 внутрішнього електрода і внутрішньої поверхні трубчастого діелектричного елемента 4 до максимуму на середині прямолінійного відрізка.

Призматичний стрижень може бути виготовлений у вигляді тригранної, чотиригранної, п'ятигранної і т.д. призми.

Число бічних граней призматичного стержня і крок спіралі залежать від питомої продуктивності, необхідної від озонатора.

#### **Висновки:**

Розроблений віброозонуючий комплекс (озонатор) для сушіння зернової сировини, в якому в якості сушильного агента виступала суміш підігрітого повітря у поєднанні із озonom певної концентрації, що генерується електронним пристроєм синтезу озону – трубчастим озонатором.

Підвищення продуктивності трубчастого озонатора проходить за рахунок збільшення неоднорідності напруженості електричного поля між електродом із зовнішнього боку діелектричного елемента і електродом з внутрішньої сторони діелектричного елемента.

Електрод із внутрішньої сторони діелектричного елемента пропонується виготовити у вигляді металеві стрічки з гостроконечними краями, навитої на стержень тригранної, чотиригранної, п'ятигранної і т.д. призми, який являє собою розімкнутий багатокутник, а саме, шестикутник. Число бічних граней призматичного стержня і крок спіралі залежать від питомої продуктивності, необхідної від озонатора.

Інтенсифікація процесу сушіння зернової сировини відбувається шляхом використання вібраційних технологій та розробленого обладнання у поєднанні із введенням до складу сушильного агента озону.

#### **Список використаних джерел**

1. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В., Герасимов А.А. Особенности процесса и оборудования для сушки зернового сырья с использованием озона. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. № 4(18). С. 37-45.

2. Голубкович А.В., Чижиков А.Г. Сушка высоковлажных семян и зерна. Москва, 1991. 174 с.

3. Троцкая Т.П. Сушка зерна с помощью озонозвоздушной смеси. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1985. № 1. С. 36-39.

4. Ксенз Н.В., Попандопуло К.Х., Сидорцов И.Г. Повышение качества зерна на основе использования озонозвоздушных

смесей. *Вестник аграрной науки Дона*. 2009. № 4. С. 64-73.

5. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва, 1985. 57 с.

6. Грачева Л.И., Груба Г.И. Способы и методы использования экологически чистой энергии. Симферополь, 2004. 728 с.

7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва, 1985. 35 с.

8. Лысов В.Н. Просо. Санкт-Петербург, 1968. 244 с.

9. Вербицкая С.В. Предпосевная обработка семян фасоли магнитным полем и озонотом: дис. ... канд. техн. наук. КубГАУ. Краснодар, 2001. 133 с.

10. Цуркан О.В., Пришляк В.М., Присяжнюк Д.В. Інтенсифікація сушіння зерна у процесі його післязбиральної обробки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. № 2 (97). С. 99-103.

11. Kotov B., Spirin A., Kalinichenko R., Bandura V., Polievoda Y., Tverdokhlib I. Determination the parameters and modes of new heliocollectors constructions work for drying grain and vegetable raw material by active ventilation. *Research in Agricultural Engineering*. 2019. № 1(65). P. 20–24.

#### **References**

1. Tsurkan, O.V., Prisyazhniuk, D.V., Herasymov, A.A. (2016). Osobennosti protsessa y oborudovaniya dlia sushky zernovoho syr'ia s yspolzovaniem ozona. [Features of the process and equipment for drying grain raw materials using ozone]. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin [in Polish].

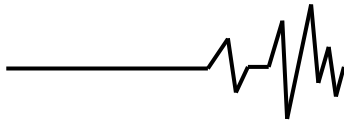
2. Holubkovych, A.V., Chyzhykov, A.H. (1991). Sushka visokovlzhnshkh semian y zerna. [Drying high moisture seeds and grains]. Moscow [in Russian].

3. Trotskaia, T.P. (1985). Sushka zerna s pomoshchiu ozonovozdushnoi smesy. [Drying grain using ozone-air mixture]. *Mekhanizatsiia i elektryfikatsiia selskoho khoziaistva*. [in Russian].

4. Ksenz, N.V., Popandopulo, K.K., Sydortsov, Y.H. (2009). Povisheniye kachestva zerna na osnove yspolzovaniya ozonovozdushnykh smesei. [Improving grain quality through the use of ozone-air mixtures]. *Vestnyk ahranoi nauky Dona*. [in Russian].

5. HOST 12038-84. (1985). Semena selskokhoziaistvennykh kultur. Metodi opredeleniya vskhozhesty. [Agricultural seeds. Germination determination methods]. Moscow [in Russian].

6. Hracheva, L.Y., Hrubá, H.Y. (2004). Sposobi y metodi yspolzovaniya ekolohychesky



chystoi enerhyy. [Ways and methods of using clean energy]. Simferopol [in Russian].

7. Dospikhov, B.A. (1985). *Metodyka polevoho opita*. [Field experiment technique]. Moscow [in Russian].

8. Lisov, V.N. (1968). *Proso*. [Millet]. Saint Petersburg [in Russian].

9. Verbytskaia, C.B. (2001). *Predposevnaia obrabotka semian fasoly mahnytnim polem y ozonom*. [Presowing treatment of beans with a magnetic field and ozone]. Krasnodar [in Russian].

10. Tsurkan, O.V., Pryshliak, V.M., Prysiashniuk, D.V. (2017). *Intensyfikatsiia sushinnia zerna u protsesi yoho pisliazbyralnoi obrobky*. [Intensification of grain drying in the process of its post-harvest processing]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. Vinnytsia [in Ukrainian].

11. Kotov, B., Spirin, A., Kalinichenko, R., Bandura, V., Polievoda, Y., Tverdokhlib, I. (2019). *Determination the parameters and modes of new heliocollectors constructions work for drying grain and vegetable raw material by active ventilation*. *Czech Academy of Agricultural Sciences. Research in Agricultural Engineering*. Prague [in English].

#### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СИНТЕЗА ОЗОНА В ВИБРАЦИОННОЙ СУШИЛКЕ

В статье проанализированы особенности проведения сушки зернового сырья с использованием вибрационной сушилки, в которой в качестве сушильного агента выступает смесь подогретого воздуха в сочетании с озоном определенной концентрации. На основе проведенного анализа с целью интенсификации данного процесса нами предлагается разработка высокопроизводительного электронного устройства синтеза озона.

В научном исследовании рассматриваются колебания, которые увеличивают и обновляют поверхность теплообмена независимо от способа подвода сушильного агента. Благодаря этому интенсифицируется снятие влаги, увеличивается скорость сушки. Проведя поиск и проанализировав процесс вибрационной сушки можно утверждать, что в будущем будут прогрессировать две основные тенденции их развития. Это использование вибрации в сочетании с действием озона на сырье, что поступает на сушку.

Озон взаимодействует с мембранной

структурой клеток бактерий, грибов, структурной единицей вирусов, что приводит к нарушению ее барьерной функции и их гибели. По бактерицидным действием озонирование превосходит действие ультрафиолетового кварцевого облучения. Бактерицидный эффект от кварцевого облучения в течение 60 мин. идентичен бактерицидный эффект от действия озона в течение 3 мин. Озон обладает высокой проникающей способностью, а также проявляет антибактериальную активность в отношении грамположительной флоры, кишечной палочки, эпидермального стафилококка.

В статье рассмотрены универсальность действия низкочастотных колебаний на продукцию. Такой способ наиболее эффективен для управления динамическим состоянием сырья, что обрабатывается. Проведенный анализ позволяет предложить возможные решения использования низкочастотных колебаний для процессов сушки и наметить перспективы их применения.

Проведенный обзор существующего оборудования для процесса сушки позволил установить недостатки сушильного оборудования, что заключаются в некачественной обработке сырья. Доказано, что существующее оборудование используется с значительными энергозатратами и высокой стоимостью.

Рассмотренные в работе конструкции и технологии не полностью исчерпывают возможности использования вибрации и озона, хотя свидетельствуют о целесообразности их применения и сочетания не только в аграрном производстве, но и в других отраслях с целью интенсификации процессов и получения качественной продукции.

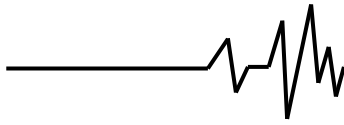
**Ключевые слова:** зерновое сырье, процесс сушки, скорость сушки, сушильный агент, интенсификация, вибрация, озон, озоновооздушная смесь, производительность.

#### DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A HIGH-PERFORMANCE ELECTRONIC DEVICE FOR OZONE SYNTHESIS IN A VIBRATION DRYER

The article analyzes the features of drying grain raw materials using a vibrating dryer, in which the drying agent is a mixture of heated air in combination with ozone of a certain concentration. Based on the analysis to intensify this process, we propose to develop a high-performance electronic device for ozone synthesis.

The scientific study considers oscillations that increase and update the heat transfer surface





regardless of the method of supply of the drying agent. Due to this, the removal of moisture intensifies, the drying speed increases. Having conducted a search and analyzed the process of vibration drying, we can say that in the future will progress two main trends in their development. This is the use of vibration in combination with the action of ozone on the raw material entering the drying.

Ozone interacts with the membrane structure of bacteria, fungi, the structural unit of viruses, which leads to a violation of its barrier function and their death. The bactericidal effect of ozonation is superior to the effect of ultraviolet quartz radiation. Bactericidal effect from quartz irradiation for 60 minutes identical to the bactericidal effect of ozone for 3 minutes. Ozone has a high penetrating ability and also shows antibacterial activity against gram-positive flora, *Escherichia coli*, epidermal staphylococcus. This

method is the most effective general method of controlling the dynamic state of the processed raw materials. The analysis allows us to suggest possible solutions for the use of low-frequency oscillations for separation processes and outline the prospects for their application. It is proved that the existing equipment is used with significant energy consumption and high cost.

The constructions and technologies considered in the work do not completely exhaust the possibilities of using vibration and ozone, although they testify to the expediency of their application and combination not only in agricultural production, but also in other industries in order to intensify processes and obtain quality products.

**Keywords:** grain raw materials, drying process, drying speed, drying agent, intensification, vibration, ozone, ozone - air mixture, productivity.

#### **Відомості про авторів**

**Цуркан Олег Васильович** – доктор технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету м. Вінниця, вул. Сонячна, 3, 21008, e-mail: [tsurkan\\_ov76@ukr.net](mailto:tsurkan_ov76@ukr.net).

**Полевода Юрій Алікович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету м. Вінниця, вул. Сонячна, 3, 21008, e-mail: [vinyura36@gmail.com](mailto:vinyura36@gmail.com).

**Присяжнюк Дмитро Володимирович** – кандидат технічних наук, викладач Відокремленого структурного підрозділу «Ладижинський фаховий коледж Вінницького НАУ» м. Ладижин, вул. Петра Кравчика, 5, 24321, e-mail: [dima061992@yahoo.com](mailto:dima061992@yahoo.com).

**Цуркан Олег Васильевич** - доктор технических наук, доцент кафедры технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств Винницкого национального аграрного университета г. Винница, ул. Солнечная, 3, 21008, e-mail: [tsurkan\\_ov76@ukr.net](mailto:tsurkan_ov76@ukr.net).

**Полевода Юрий Аликович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств Винницкого национального аграрного университета г. Винница, ул. Солнечная, 3, 21008, email: [vinyura36@gmail.com](mailto:vinyura36@gmail.com).

**Присяжнюк Дмитрий Владимирович** – кандидат технических наук, преподаватель Обособленного структурного подразделения «Ладыженский профессиональный колледж Винницкого НАУ» г. Ладыжин, ул. Петра Кравчика, 5, 24321, e-mail: [dima061992@yahoo.com](mailto:dima061992@yahoo.com).

**Tsurkan Oleh** – doctor of technical sciences, associate professor of the department of technological processes and equipment of processing and food production of Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, st. Sonyachna, 3, 21008, e-mail: [tsurkan\\_ov76@ukr.net](mailto:tsurkan_ov76@ukr.net).

**Polievoda Yurii** – candidate of technical sciences, associate professor of the department of technological processes and equipment for processing and food production, Vinnytsia National Agrarian University: Vinnytsia, st. Sonyachna, 3, 21008, e-mail: [vinyura36@gmail.com](mailto:vinyura36@gmail.com).

**Prysyazhnyiuk Dmytro** – candidate of technical sciences, lecturer of the separate structural subdivision «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia NAU» Ladyzhyn, ie. Petra Kravchika, 5, 24321, e-mail: [dima061992@yahoo.com](mailto:dima061992@yahoo.com).