

**Цуркан О.В.**

д.т.н., професор

Спирін А.В.

к.т.н., доцент

Присяжнюк Д.В.

к.т.н., доцент

**Відокремлений
структурний підрозділ
«Ладжинський фаховий
коледж ВНАУ»**

Дідик А.М.

аспірант

**Вінницький національний
аграрний університет**

Tsurkan O.Doctor of Technical Sciences,
Professor**Spirin A.**Ph.D. of Engineering, Associate
Professor**Prysiashniuk D.**Ph.D. in Engineering, Associate
Professor

**Separated structural unit
«Ladyzhyn Professional
College of Vinnytsia
National Agrarian**

Didyk A.

postgraduate student

**Vinnytsia National Agrarian
University**

УДК: 631.363**DOI: 10.37128/2306-8744-2024-3-10**

МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ ПРИ СУШІННІ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ У ВІБРАЦІЙНІЙ СУШАРЦІ

Волоський горіх з ботанічної точки зору відносять до роду *Juglans*, який налічує більше ніж 20 різних видів. Назва даного роду походить від латинського словосполучення «*iovis glans*», який переводиться як «жолудь Юпітера». Ядра волоських горіхів знаходять своє використання у багатьох галузях – у медицині, харчовій та парфумерній промисловостях. З додаванням твердих оболонок плодів здійснюють технологічний процес дублення шкіри. Перикарпій завдяки високому вмісту йоду використовують для фарбування тканин у різні відтінки коричневого кольору, а також у медичних цілях. Шкаралупа волоського горіха використовується для виготовлення активованого вугілля, каменя для шліфування, лінолеуму тощо.

Наразі Україна займає шосту-восьму позицію у світовому рейтингу за об'ємами вирощування, виробництва та експорту волоських горіхів. За останні 30 років в середньому за рік вироблялось майже 90000 тонн горіхів. Перше місце в світі за вирощуванням та виробництвом волоських горіхів у шкаралупі займає Китай із показником понад 705 000 тонн за рік. У першу трійку входять Сполучені Штати Америки та Іран із показниками у понад 405 000 тонн і 256 000 тонн відповідно.

До лідерів-виробників волоських горіхів світового масштабу також належать Туреччина, Буркіна-Фасо та Мексика. Майже 60% волоських горіхів у шкаралупі вирощують та виробляють країни Азії, 25,5% припадає на країни Південної та Північної Америки. Європа виробляє 14,4%, Африка – 3%.

На основі результатів попередніх досліджень, які встановили перспективи використання вібраційного впливу на оброблюване середовище при сушінні, а також озону при зневоложенні різної сільськогосподарської сировини, нами було розроблено ідею поєднання вібротехнологій та озонування, яку ми втіпили у вібраційній сушарці для обробки волоських горіхів озоноповітряною сумішшю.

Ключові слова: волоські горіхи, сушіння, вібраційний вплив, концентрація, озоноповітряна суміш, температура, швидкість.

Постановка проблеми. Найбільш енергоємним і трудомістким процесом в технології переробки волоського горіха є його сушіння. Волоські горіхи під час збирання, як правило, мають вологість 35-45 %, затаких умов горіх не може зберігатись і переробляється, оскільки при підвищеній вологості створюються неприємні умови для розвитку мікробіологічних та ферментативних процесів, які викликають інтенсивне зниження якості продукції

[4, 5]. Гідно вимог міжнародного стандарту, вологість волоського горіха в шкаралупі має бути до 10 %. Тому, розробка засобів та методів збереження і підвищення показників якості волоських горіхів наразі є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливості та перспективи впровадження вібротехнологій при сушінні сільськогосподарської продукції рослинного походження подано у роботі [6]. Аналізу



протікання процесу сушіння сільськогосподарської сировини з особливими якостями присвячено роботу [7]. Основи енергозберігаючого сушіння озоноповітряною сумішшю (електроактивованим сушильним агентом) подано у роботі [8].

Особливості використання озоноповітряного сушіння з метою його інтенсифікації і подальшого зберігання та використання продукції рослинництва наведені в роботах [6, 9]. В роботі [10] представлено особливості впливу електроактивованого повітря на показники якості оброблюваного рослинного матеріалу при зневоложенні залежно від концентрації озону та експозиції сушіння.

Огляд літературних джерел показує, що перспективним методом зниження енерговитрат при сушінні є використання сушарок із вібраційною дією на матеріал, що забезпечує вихід якісної продукції за рахунок рівномірного зняття вологи із одиниці об'єму висушуваного матеріалу. Крім того, використання озоноповітряної суміші в теплоносії забезпечує інтенсифікацію процесу сушіння із одночасним органічним знезаражуванням оброблюваної сировини. Тому, поєднання цих технологій в одному процесі та його математичне моделювання є перспективним та актуальним.

Мета роботи. Метою роботи є визначення концентрації озону при сушінні волоських горіхів у шкаралупі при використанні вібраційної сушарки.

Результати досліджень. Вібраційний вплив забезпечує збільшення і оновлення поверхні оброблюваного сипкого середовища незалежно від напрямку подачі теплоносія, при цьому пришвидшується зниження вологи. Сушіння проходить рівномірно по всьому об'єму горіхів, унеможливаючи місцевий перегрів оброблюваного матеріалу. Сушіння за вібраційного впливу є перспективним методом терморегуляції процесу, що особливо важливо для термолабільних матеріалів, яким є волоський горіх.

Аналіз процесу сушіння за вібраційного впливу, експлуатаційних та конструктивних особливостей різних конструкцій вібро-сушарок дає змогу зробити висновок про те, що існують два основних напрямки їх подальшого розвитку. Перший напрямок констатує, що за рахунок раціональних конструктивних ідей та їх технічної реалізації (створення вібраційних коливачів, способу підведення теплоносія, композиції технологічних рішень перемішування, зневоложення, сепарції, транспортування) покращують техніко-економічні показники процесу. Другий напрямок констатує, що інтенсифікація тепломасообмінних процесів забезпечує докорінну зміну підходів до процесу сушіння, а також можливості зневоложення

продукції із надзвичайно високими, часто взаємовиключними вимогами для використання у різних галузях виробництва [6, 7].

Необхідність в якійсій сировині, а також підвищенні основних економічних показників виробництва вимагають створення нових технологічних рішень виконання процесу сушіння продукції з урахуванням її фізико-хімічних, біологічних, харчових властивостей та смакових якостей при подальшому зберіганні.

Процес сушіння повинен унеможливити такі негативні процеси, як клейстеризацію крохмалю і денатурізацію білків, конгломерацію і зниження смакових та органолептичних показників, розповсюдження хвороботворних бактерій і шкідників [11].

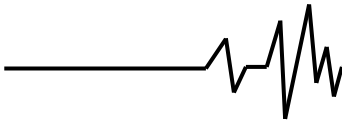
У роботах [8, 10, 12] наведено особливості впровадження енергоефективного сушіння теплоагентом, у складі якого є озон (озоноповітряна суміш). Подано гіпотези механізму впливу електроактивованого озонowanego повітря на процес зневоложення і теоретичного дослідження тепло- і масообмінних процесів в об'ємі оброблюваного матеріалу, а також перспективи використання сушіння з використанням озоноповітряної суміші в аграрному виробництві.

Сушіння з використанням електроактивованого повітря має свої особливості. В першому етапі зневоложення частина озону в складі сушильного агента чинить окислювальну дію на поверхню оброблюваного матеріалу з органічними і неорганічними об'єктами, знезаражуючи її. Швидкість руху вологи збільшується. Далі частина поверхневої вологи вступає в реакцію з утвореними озонидами.

Проходячи через оброблюваний матеріал озон розкладається на O_2 і O із наступним виділенням термоенергії в розмірі 142 кДж/моль. Атомарний кисень об'єднує вологу навколо себе у вигляді дрібних часток, які виносяться потоком теплоносія. Після виведення вологи, яка знаходиться на поверхні матеріалу, озон впливає на проникність мембран клітин, а атомарний кисень пришвидшує рух вологи з клітин на поверхню.

Наступний етап зневоложення – видалення сорбційно-зв'язаної вологи. В даному етапі значну роль відіграють термоенергія, яку виділяє озон при розпаді озону, атомарний кисень та іони різної полярності. Електричні сили ослаблюють дипольні зв'язки молекул води з клітинами оброблюваного матеріалу, що значно підвищує швидкість зневоложення в даний період.

У волоських горіхах, як і у більшості рослинної продукції, волога знаходиться у зв'язаному стані, іншими словами, бере участь в процесах життєдіяльності. Форми її зв'язку із



матеріалом буває різна, тому для їх деструктуризації необхідна значна кількість енергії.

При подачі озону на поверхню волоських горіхів виникають вільнорадикальні процеси із інтенсивним розповсюдженням останніх по об'єму оброблюваної сировини. Даний процес набуває вигляду передачі енергії, яка виділяється на молекулярних мішенях поверхні оброблюваного матеріалу, у внутрішні шари, що призводить до зміни сумарного енергетичного потенціалу. Частина надлишкової енергії бере участь у фізико-хімічних перетвореннях, які призводять до зміни структури клітинних мембран, окислювально-відновлювального потенціалу, іонної проникності та інших властивостей клітини. Також деяка частина енергії трансформується в тепло, що інтенсифікує наступні процеси.

При спостереганні процесу сушіння з використанням озоноповітряної суміші в мікроскоп можна побачити накопичення міжклітинної води і зменшення розмірів клітин. Дані зміни є нестабільними і через деякий час зникають.

Вплив озону на волоські горіхи спричиняє в них зниження енергетичних рівнів зв'язків вологи, а також інтенсифікує тепло- та масообмін. Масообмін прискорюється в результаті підвищення вологовіддачі матеріалу в результаті біологічних, хімічних та фізико-хімічних процесів, також підвищується вологоабсорбуюча здатність теплоагенту [8, 10, 12].

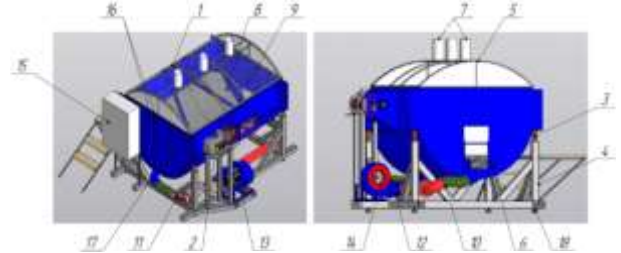
Сушіння озоноповітряною сумішшю унеможливує розвиток шкідників та хвороб. Дію озону на них можна змінювати в залежності від режиму обробки, температури сушильного агента, його вологості та концентрації озону.

Електроактивоване повітря, яке виступає сушильним агентом, впливає на мікрофлору поверхні волоських горіхів не лише через зниження вологості, але й завдячуючи знезаражуючим властивостям озону, які залежать від його концентрації і температурою сушильного агента. При використанні озоноповітряної суміші із заданою концентрацією і температурою можна забезпечити зберігання та навіть поліпшення якісних показників. Показник кількості шкідників та хвороб знижується у порівнянні із звичайним конвективним сушінням обробкою у 2,2 рази. Зменшується ймовірність грибкових та бактеріальних заражень в залежності від концентрації озону та початкової зараженості. Плісняві грибки за концентрації 10 мг/м^3 на поверхні волоських горіхів на початку процесу сушіння.

При сушінні озоноповітряною сумішшю некротичні зміни в продукції рослинництва практично відсутні. По завершенню зневоложення через 3-18 год відновлюються мембрани клітин та

їх покривний шар. Волоські горіхи, оброблені при концентрації до 40 мг/м^3 , не позбавляються своїх біологічних якостей. Вживання їх людиною не викликає в її організмі гістологічних і морфологічних змін.

Аналізуючи вище подану інформацію нами була розроблена [13] вібраційна сушарка для сушіння волоських горіхів, яка містить: U-подібну сушильну камеру 1, що оснащена інерційним вібратором 2 та встановлена на рамі 4 на пружинах 3. Закриття U-подібної сушильної камери 1 здійснюється кришкою 5, у верхній частині якої розміщені повітропроводи 7, через які здійснюється виведення відпрацьованого повітря (рис. 1).



а – вид зверху, б – вид збоку; 1 – U-подібна сушильна камера; 2 – інерційний вібратор; 3 – пружини; 4 – рама; 5 – кришка; 6 – розвантажувальний лоток; 7 – повітропроводи; 8 – перфороване днище; 9 – піддон; 10 – лінія подачі нагрітого повітря; 11 – теплоелектронагрівач; 12 – повітророзподільчий пристрій; 13 – електродвигун; 14 – нагнітальний вентилятор; 15 – автоматична система керування; 16 – 3-х рівневі датчики температури та вологості; 17 – датчик температури; 18 – антивібраційна опора

Рис. 1. Конвективно-вібраційна сушарка для сушіння волоських горіхів

Нижня частина U-подібної сушильної камери 1 містить перфороване днище 8 та піддон 9, що утворює робочу камеру для сушильного агента – гарячого повітря, який містить у своєму складі озон певної концентрації, що генерується електронним пристроєм синтезу озону (рис. 2).



а – загальний вигляд; б – робоча камера синтезу озону

Рис. 2. Електронний пристрій синтезу озону

Дана форма сушильної камери дозволяє значно зменшити об'єм застійних зон при продуванні шару горіхів сушильним агентом. Для подачі теплого повітря до U-подібної сушильної

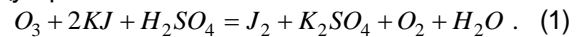


камери 1 використовується нагнітальний вентилятор 14, повітророзподільний пристрій 12, лінія подачі нагрітого повітря 10, в якій встановлені теплоелектронагрівачі 11. Привод нагнітального вентилятора здійснюється електродвигуном 13. На вході в U-подібну сушильну камеру 1 встановлено датчик температури 17 для контролю подачі сушильного агента у робочу камеру з лінії подачі нагрітого повітря 10. В U-подібній сушильній камері встановлені також 3-х рівневі датчики 16 для контролю температури сушильного агента та вологості, які підключені до автоматичної системи керування 15. Для вивантаження висушеного матеріалу у нижній частині вібраційної сушарки розміщений розвантажувальний лоток 6. Рама встановлена на антивібраційних опорах 18.

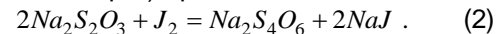
Вібраційна сушарка працює наступним чином. Волога горіхова маса завантажується в U-подібну сушильну камеру 1 на перфороване днище 8. Вмикається в роботу інерційний вібратор 2, електродвигун 13 привода нагнітального вентилятора 14 та теплоелектронагрівачі 11. За допомогою нагнітального вентилятора 14 та повітророзподільного пристрою 12 по магістралі повітря подається до теплоелектронагрівачів 11, що встановлені в лінії подачі нагрітого повітря 10. Після проходження теплонагрівачів 11 нагріте до певної температури повітря із озonom через піддон 9 поступає в робочу камеру під перфороване днище 8 і розподіляється по U-подібній сушильній камері 1. Пройшовши через сушильний матеріал, відпрацьоване повітря через повітропроводи 7 виводиться із сушильної камери. Встановлені в U-подібній сушильній камері 3-х рівневі датчики для контролю температури повітря і вологості та підключені до автоматичної системи керування при досягненні необхідної температури, дають змогу вимикати електродвигун нагнітального вентилятора та теплоелектронагрівачі, що дозволяє узгодити режими роботи вібраційної сушарки. Вивантаження висушених волоських горіхів здійснюється через розвантажувальний лоток 6 за рахунок вібрації U-подібної сушильної камери. Дана конструкція сушильної установки дозволяє легко керувати основними режимними параметрами її роботи: витратою та температурою сушильного агента, а також параметрами вібраційного впливу – частотою та амплітудою коливання сушильної камери, що є важливо для практичної реалізації процесу сушіння волоських горіхів з максимальною ефективністю.

Для проведення вимірювання концентрації озону був обраний йодометричний метод, який використовується для вимірювання концентрації озону в повітрі при вмісті від 4% до 10⁻⁶%. Даний метод рекомендується для перевірки електронних газоаналізаторів, призначених для вимірювання вмісту озону в повітрі. Широке використання вище вказаного методу пояснюється простотою проведення аналізу повітряного середовища.

Суть йодометричного методу вимірювання концентрації озону в повітрі полягає в наступному. Повітря, що містить озон, пропускається через розчин йодистого калію та сірчаної кислоти. В результаті хімічної взаємодії озону з йодистим калієм, виділяється еквівалентна кількість вільного йоду з рівняння:



Виділений під час цієї реакції йод протравлюється сірчаноокислим натрієм (тіосульфатом натрію) з рівняння:



Титрування проводиться за присутності індикатора – крохмалю і ведеться до знебарвлення розчину, тобто до повного з'єднання вільного йоду із сірчаноокислим натрієм.

На кожную молекулу, що вступає в реакцію озону при травленні, витрачається дві молекули тіосульфату. Таким чином, кількість тіосульфату, що витратилась на травлення, прямо пропорційна кількості озону, що вступає в реакцію, і, якщо реакція пройшла повністю, за кількістю тіосульфату можна визначити кількість озону в газі (C) згідно з виразом:

$$C = E_0 \frac{V_m M_m}{V}, \quad (3)$$

де E_0 – молярна маса еквівалентного озону;

$$\left[M_m \left(\frac{1}{2} \cdot O_3 \right) = 24 \frac{r}{\text{моль}} \right], \quad (4)$$

де M_m – молярна концентрація розчину тіосульфату;

V_m – об'єм розчину тіосульфату, витраченого на травлення, мл;

V – об'єм газу, що пройшов через розчин тіосульфату, л.

Для доведення концентрації озону до нормальних умов необхідно додатково виміряти атмосферний тиск та температуру навколишнього повітря, після чого вирахувати приведену концентрацію C_0 за формулою:

$$C_0 = C \cdot \frac{P_0 \cdot T}{P \cdot T_0}, \quad (5)$$

де P – атмосферний тиск, мм Hg;

P_0 – 760 мм Hg, нормальний тиск;

T – температура навколишнього повітря, К;

T_0 = 293 К – нормальна температура.

Визначення концентрації озону виконується в наступній послідовності. Заздалегідь із фіксалів готується буферний розчин: 13,7 г двозамінного натрію NaH_2PO_4 розчиняють в 1000 мл води H_2O . Після чого, на відміну від стандартного методу, що пропонує використовувати 5% розчин, готується 0,1n



буферний розчин йодиду калію KJ . Озоноповітряну суміш, вироблену досліджуваною установкою, пропускають через 40-50 мл одномолярного розчину йодиду калію KJ . Отриманий розчин після пропускання озонованого газу зливають в колбу та підкислюють 5 мг 2N розчину $HC1$. Виділений йод відтитрують 0,01N розчином гіпосульфїта натрію, також виготовленого з фіксанала, до блідо-жовтого забарвлення, після чого додають 1 мл 1%-го розчину крохмалю. Потім рідину дотитрують до зникнення синього забарвлення.

Вміст озону вираховують за формулою:

$$C = 24 \cdot \frac{bn}{V}, \quad (6)$$

де C – вміст озону, мг/л;

n – кількість розчину гіпосульфїта, витраченого для титрування, мл;

24 – коефіцієнт перерахунку кількості гіпосульфїта натрію на озон;

V – об'єм озонованого повітря, що пройшов через розчин йодистого калію.

Об'єм озоноповітряної суміші, яка пройшла через розчин йодистого калію може бути знайдена з виразу:

$$V = \Phi t, \quad (7)$$

де Φ – продуктивність установки, л/хв;

t – час пропускання через 40-50 мл одномолярного розчину, хв.

Тоді:

$$C = 24 \cdot b \cdot \frac{n}{Pt}. \quad (8)$$

У зв'язку з тим, що йодид калію є світлочуттєвою речовиною і може розкладатися під час потрапляння на нього сонячного світла, рекомендують проводити експеримент в затемненому приміщенні.

Висновки:

1. Сушіння є найбільш енергозатратним процесом в технології переробки продукції рослинництва і садівництва, в тому числі і волоських горіхів. Під час збирання зазвичай волоські горіхи мають вологість 35-45%, тоді як кондиційна вологість для зберігання або подальшої переробки становить 10%. Плоди вищої вологості мають велику ймовірність розвитку небажаних процесів на своїй поверхні що може призвести до швидкого зниження його якості.

2. Інтенсифікація процесів сушіння сільськогосподарської продукції є першочерговим завданням дослідників що займаються проблемами сушіння продукції рослинництва та садівництва. Дієвим засобом інтенсифікації процесу сушіння є вібраційний вплив на шар матеріалу, зокрема волоських горіхів.

3. Застосування вібраційного впливу зменшує аеродинамічний опір шару горіхів що позитивно впливає на енергетичні показники процесу. Під впливом вібраційної дії відбувається турбулізація ламінарного шару на границі між

матеріалом і теплоносієм що сприяє збільшенню коефіцієнта теплообміну. Також вібраційна дія дозволяє зменшити площу контакту горіхів між собою що також дозволяє збільшити коефіцієнт теплообміну.

4. Вплив озону на вологий рослинний матеріал дозволяє знизити в ньому енергетичний рівень зв'язків вологи і матеріалу що зменшує витрати теплової енергії на випаровування внутрішньої вологи. Застосування теплоносія з певним вмістом озону дозволяє пригнічувати небажаний розвиток патогенної мікрофлори на поверхні горіхів.

5. Розроблений метод дасть змогу здійснювати процес сушіння волоських горіхів у вібраційній сушарці із чітко заданою концентрацією озону у складі сушильного агенту, що в кінцевому результаті забезпечить отримання сировини високої якості.

Список використаних джерел

1. Україна входить до списку найбільших у світі виробників волоських горіхів: топ-10 країн [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://unian.ua/economics/agro/gorih-i-v-ukrajini-krajina-uviyshla-do-spisku-naybilshih-u-sviti-virobnikiv-12517701.html> (дата звернення 14.09.2024).

2. Волоський горіх [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gorihvovod.blogspot.com/2012/11/80-90.html> (дата звернення 14.09.2024).

3. Самойленко О. Грецький горіх: ваш бізнес сьогодні, завтра і в майбутньому [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://propozitsiya.com/ua/greckiy-gorih-vash-biznes-sogodni-zavtra-i-v-maybutnomu> (дата звернення 14.09.2024).

4. Руткевич В.С., Дідик А.М. Огляд методів та засобів для сушіння волоського горіха в шкаралупі. *Вісник Хмельницького національного університету серія: Технічні науки*. 2023. № 1(317). С. 230-236.

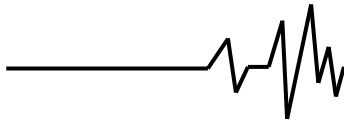
5. Горіх волоський [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення 01.10.2024).

6. Цуркан О.В. Аналіз вібраційних технічних засобів для сушіння насіння гарбуза. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. № 4 (103). С. 5-14.

7. Цуркан О.В., Спирін А.В., Твердохліб І.В., Дідик А.М. Обґрунтування способу сушіння волоських горіхів. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2023. № 2 (109). С. 5-11.

8. Tsurkan O., Prysiazhniuk D., Spirin A., Borysiuk D., Tverdokhlib I., Polievoda Y. (2022). Research of the process of vibroozone drying of grain. *Przegląd Elektrotechniczny*. Vol. 98. № 12. P. 329-333.

9. Kaletnik G., Tsurkan O., Rimar T., Stanislavchuk O. Determination of the kinetics of the



process of pumpkin seeds vibrational convective drying. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 1/8. P. 50-57.

10. Tsurkan O., Prysiazhniuk D., Spirin A., Borysiuk D., Tverdokhlib I., Hrushetskyi S. (2023). Research of the energy parameters of the vibro-ozonation complex. *Przegląd Elektrotechniczny*. Vol. 99, № 6. P. 39-44.

11. Shinuo Cao, Fei Xiang, Shanshan Li. and oth. (2024). Characteristics of walnut oil and the residual cake prepared using various pretreatment and extraction methods. *LWT*. Volume 206. P. 1-9.

12. Honcharuk I., Kupchuk I., Yaropud V., Kravets R., Burlaka S., Hraniak V., Poberezhets Ju., Rutkevych V. (2022). Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude-frequency response of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad. *Przegląd Elektrotechniczny*. Vol. 98 (9). P. 14-20.

13. Цуркан О.В., Спирін А.В., Руткевич В.С., Дідик А.М. Розробка конвективно-вібраційної сушарки для сушіння волоських горіхів. *Вісник Хмельницького національного університету серія: Технічні науки*. 2024. № 2 (333). С. 393-399.

References

1. Ukraine is on the list of the world's largest walnut producers: top 10 countries [Electronic resource].

– Access mode: <http://unian.ua/economics/agro/gorihiv-ukrajini-krajina-uviyshla-do-spisku-naybilshih-u-sviti-virobnikiv-12517701.html> (access date 9/14/2024) [in Ukrainian]

2. Walnut [Electronic resource]. – Access mode: <http://gorihvovod.blogspot.com/2012/1/1/80-90.html> (access date 9/14/2024) [in Ukrainian]. [in Ukrainian]

3. Samoilenko O. Walnut: your business today, tomorrow and in the future [Electronic resource]. – Access mode: <http://propozitsiya.com/ua/greckiy-gorih-vash-biznes-sogodni-zavtra-i-v-maybutnomu> (access date 09/14/2024). [in Ukrainian]

4. Rutkevich V., Didyk A. Review of methods and means for drying walnut in shell. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University Series: Technical Sciences*. 2023. No. 1 (317). P. 230-236. [in Ukrainian]

5. Walnut [Electronic resource]. – Access mode: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (access date 10/01/2024). 6. Tsurkan O. Analysis of vibrating technical means for drying pumpkin seeds. *Vibrations in Engineering and Technology*. 2021. № 4 (103). С. 5-14. [in Ukrainian]

7. Tsurkan O., Spirin A., Tverdokhlib I., Didyk A. Justification of the method of drying walnuts. *Vibrations in Engineering and Technology*. 2021. No. 2 (109). P. 5-11. [in Ukrainian]

8. Tsurkan O., Prysiazhniuk D., Spirin A., Borysiuk D., Tverdokhlib I., Polievoda Y. (2022).

Research of the process of vibroozone drying of grain. *Przegląd Elektrotechniczny*. Vol. 98. № 12. P. 329-333. [in English]

9. Kaletnik G., Tsurkan O., Rimar T., Stanislavchuk O. Determination of the kinetics of the process of pumpkin seeds vibrational convective drying. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 1/8. P. 50-57. [in English]

10. Tsurkan O., Prysiazhniuk D., Spirin A., Borysiuk D., Tverdokhlib I., Hrushetskyi S. (2023). Research of the energy parameters of the vibro-ozonation complex. *Przegląd Elektrotechniczny*. Vol. 99, № 6. P. 39-44. [in English]

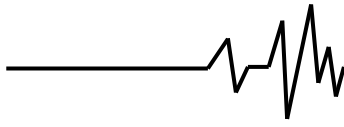
11. Shinuo Cao, Fei Xiang, Shanshan Li. and oth. (2024). Characteristics of walnut oil and the residual cake prepared using various pretreatment and extraction methods. *LWT*. Volume 206. P. 1-9. [in English]

12. Honcharuk I., Kupchuk I., Yaropud V., Kravets R., Burlaka S., Hraniak V., Poberezhets Ju., Rutkevych V. (2022). Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude-frequency response of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad. *Przegląd Elektrotechniczny*. Vol. 98 (9). P. 14-20. [in English]

13. Tsurkan O., Spirin A., Rutkevich V., Didyk A. Development of a convective-vibrating dryer for drying walnuts. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University Series: Technical Sciences*. 2024. № 2 (333). С. 393-399. [in Ukrainian]

METHOD OF MEASURING OZONE CONCENTRATION DURING DRYING OF WALNUTS IN A VIBRATORY DRYER

From a botanical point of view, walnuts belong to the genus Juglans, which has more than 20 different species. The name of this genus comes from the Latin phrase "iovis glans", which translates as "Jupiter's acorn". Walnut kernels are used in many industries - in medicine, food and perfume industries. With the addition of hard fruit shells, the technological process of tanning leather is carried out. The pericarp, due to its high iodine content, is used to dye fabrics in various shades of brown, as well as for medical purposes. Walnut shells are used to make activated carbon, grinding stones, linoleum, etc. Currently, Ukraine occupies the sixth-eighth position in the world ranking in terms of walnut cultivation, production and export. Over the past 30 years, an average of almost 90,000 tons of nuts have been produced per year. China is the world's leading producer and exporter of walnuts in shell, with over 705,000 tons per year. The top three countries are the United States and Iran, with over 405,000 tons and 256,000 tons respectively. Turkey, Burkina Faso and Mexico are also among the world's leading producers of walnuts. Almost 60% of walnuts in shell are grown and produced in Asia, 25.5% in South and North



America. Europe produces 14.4%, Africa 3% [1-3].

Based on the results of previous studies, which established the prospects for using vibration effects on the processed medium during drying, as well as ozone during dehumidification of various agricultural raw materials, we developed the idea of combining vibration technologies and ozonation,

which we implemented in a vibration dryer for processing walnuts with an ozone-air mixture.

Keywords: walnuts, drying, vibration, concentration, ozone-air mixture, temperature, speed

Відомості про авторів

Цуркан Олег Васильович – доктор технічних наук, професор кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету, директор Відокремленого структурного підрозділу «Ладизинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету» (вул. П. Кравчика, 5, м. Ладизин, Вінницька обл., 24321, Україна, e-mail: tsurkan_ov76@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7218-0026>).

Спирін Анатолій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент викладач відокремленого структурного підрозділу «Ладизинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету», (вул. П. Кравчика, 5, м. Ладизин, Вінницька обл., 24321, Україна, e-mail: spirinanatoly16@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4642-6205>).

Присяжнюк Дмитро Володимирович – к.т.н., заступник директора з навчальної роботи відокремленого структурного підрозділу «Ладизинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету», вул. П. Кравчика, 5, м. Ладизин, Вінницька обл., 24321, Україна, e-mail: dima061992@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-6369-5781>).

Дідик Андрій Михайлович – аспірант кафедри інженерної механіки та технологічних процесів в АПК інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380972830537, anddidyk99@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0524-0017>).

Tsurkan Oleh – D.Eng.Sc., professor of the Department of technological processes and equipment of processing and food industries of Faculty of Engineering and Technology of Vinnytsia National Agrarian University, director of Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University» (5, P. Kravchyka St., Ladyzhyn, Vinnytsia region, 24321

Spirin Anatoly - candidate of technical sciences, associate professor, teacher of Separate structural subdivision «Ladyzhyn vocational college of Vinnytsia National Agrarian University» (Kravchik Petro St., 5, Ladyzhyn, Vinnytsia Region, Ukraine, 24321, e-mail: spirinanatoly16@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4642-6205>).

Prsyazhniuk Dmytro – PhD in Engineering, deputy Director for Academic Affairs, of Separate structural subdivision «Ladyzhyn vocational college of Vinnytsia National Agrarian University» (5, P. Kravchyka St., Ladyzhyn, Vinnytsia region, 24321, Ukraine, e-mail: dima061992@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-6369-5781>).

Didyk Andrii – postgraduate student of the Department of Engineering Mechanics and Technological Processes in the Agro-Industrial Complex of the Faculty of Engineering and Technology of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sunny Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine, +380972830537, anddidyk99@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0524-0017>)