



Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI:10.37128/2520-6168-2022-1

Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness



ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК



Всеукраїнський науково-технічний журнал

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

№ 1 (116) / 2022

м. Вінниця - 2022

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково-виробничого та навчального спрямування
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» /
Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2022. 1(116). С. 169.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету
(протокол № 10 від 29.04.2022 р.)*

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

*Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України
від 02.07.2020 року №886);*

- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);

- індексується в CrossRef, Google Scholar;

- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.

Головний редактор

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Заступник головного редактора

Веселовська Н.Р. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Відповідальний секретар

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік НААН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Севостьянов І.В. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Спірін А.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іванчук Я.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Твердохліб І.В. – д.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет

Цуркан О.В. – д.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Яронуд В.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

Йордан Максимов – д.т.н., професор Технічного університету Габрово (Болгарія)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет,
тел. (0432) 46–00–03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

Електронна адреса: pophv@ukr.net



ЗМІСТ

I. АГРОІНЖЕНЕРІЯ

*Калетнік Г.М., Яропуд В.М.***СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ТЕПЛООБМІННИКА ПОБІЧНО-ВИПАРНОГО ТИПУ..... 4***Грушецький С.М., Омелянов О.М.***ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ КОРЕНЕБУЛЬБОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ..... 16***Ковальчук Ю.О., Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук А.О.***ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В АПК ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕННЯ 25***Oleksandr Kholodiuk, Volodymyr Kuzmenko, Zhukov Volodymyr***PREPARATION FEATURES OF TECHNICAL MEANS FOR HAUMAKING..... 32***Спірін А.В., Цуркан О.В. Твердохліб І.В., Борисюк Д.В.***ЕРГОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ОХОРОНИ ПРАЦІ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ..... 41**

II. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

*Алієв Е.Б., Лінко М.О.***АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕКСПАНДОВАНОГО ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ..... 51***Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А., Яцук Є.В., Гречко Р.О.***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГІДРОСТАТИЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ ТИПУ ГСТ-90... 58***Возняк О.М., Бабин І.А***АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СУШКИ ЖОМУ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА..... 65***Ivan Sevostianov, Yaroslav Ivanchuck***MODELLING OF WORKING PROCESS OF EQUIPMENT WITH HYDRAULIC DRIVE FOR SEPARATION OF DAMP DISPERSIVE MATERIALS..... 77***Матвійчук В.А., Гайдамак О.Л., Карпійчук М.Ф.***ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДЕТАЛЕЙ З ПІДВИЩЕНИМИ ТРИБОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ 83***Пазюк В.М., Токарчук О.А.***ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД 96***Полевода Ю.А., Соломон А.М., Бондар М.М.***ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОНЦЕНТРУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЗЕФІРУ..... 105***Присяжнюк Д.В.***ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОФІЗИЧНИХ ТА ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОННОМУ ПРИСТРОЇ ДЛЯ СИНТЕЗУ ОЗОНУ..... 114***Svitlana Kravets***PERFECTION OF FUNDAMENTALS OF MATHEMATICAL METHOD OF DESIGN OF HYDROSYSTEMS OF DRIVE OF TECHNICAL MACHINES..... 121***Сивак Р.І., Островський А.Й., Богатюк М.О.***ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНОВКИ УНІВЕРСАЛЬНО-СКЛАДАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ІЗ ЗМІНОЮ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ВТУЛКИ РОЗРІЗНОЇ..... 128***Цуркан О.В.***ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ НАСІННЯ ГАРБУЗА..... 136***Яропуд В.М., Купчук І.М., Бурлака С.А.***ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АДАПТИВНОГО ТРИТРУБНОГО ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРА ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ..... 142**

III. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

*Возняк О.М., Штуць А.А., Тихонов В.К.***ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ..... 150***Граняк В.Ф., Кожушко О.В.***ОЦІНЮВАННЯ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК СМУГОВОГО НЕСИМЕТРИЧНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ..... 164**



УДК 631.365

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-13

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОФІЗИЧНИХ ТА ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В
ЕЛЕКТРОННОМУ ПРИСТРОЇ ДЛЯ СИНТЕЗУ ОЗОНУ****Присяжнюк Дмитро Володимирович, к.т.н.**Відокремлений структурний підрозділ «Ладизинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»**Dmytro Prysiazhniuk, Ph.D.**Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of
Vinnytsia National Agrarian University»

Процес післязбиральної обробки зерна, особливо, сушіння, є одним із найважливіших у технології виробництва сільськогосподарської продукції. Дана обробка сприяє одержанню високоякісної продукції, її довгому та ефективному збереженню до збирання нового врожаю.

Для отримання зернової сировини кондиційної вологості та зниження енерговитрат у сільськогосподарському виробництві використовують різні прийоми інтенсифікації сушіння: вібраційне сушіння, рециркуляційне сушіння, попереднє нагрівання, вакуумне сушіння, сушіння із застосуванням інфрачервоного випромінювання, сушіння струмами високої частоти, сушіння зерна під впливом електричного поля та багато інших. Перспективним з точки зору енерговитрат та якості отриманої сировини є використання вібраційних сушарок у поєднанні із технологією озонування, яка виступає додатковим фактором інтенсифікації процесу сушіння.

Озон пригнічує дихання насіння, що в свою чергу сприяє збереженню до посіву більшого запасу поживних речовин у порівнянні із необробленим матеріалом. 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.

Перспективність використання вібраційних сушарок та технології озонування сприяє створенню електронних пристроїв для синтезу озону підвищеної продуктивності – трубчастих озонаторів, що забезпечується за рахунок збільшення неоднорідності напруженості електричного поля між електродом із зовнішнього боку діелектричного елемента і електродом з внутрішньої сторони діелектричного елемента.

В роботі представлені результати теоретичного дослідження енергофізичних та термодинамічних процесів, які відбуваються в розробленому електронному пристрої для синтезу озону, з метою обґрунтування та оптимізації його роботи в майбутньому і забезпечення енергоефективного сушіння зернової сировини при післязбиральній обробці.

***Ключові слова:** зернова сировина, післязбиральна обробка, сушіння, вібраційна сушарка, озонатор, термодинамічні процеси.*

Ф. 18. Рис. 2. Літ. 11.

1. Постановка проблеми

Сушіння зернової сировини, як правило, здійснюється у барабанних і шахтних сушарках, жодна з яких не забезпечує поєднання високої якості, швидкості здійснення процесу і низьких енерговитрат.

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 денатурацію білків, утворення конгломератів і погіршення смакових якостей, а також розмноження хвороб і шкідників.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування вібраційних сушарок та технології озонування, яке вимагає всебічного теоретичного та експериментального обґрунтування.



2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Озоноповітряна суміш може використовуватись у сільському господарстві для сушіння зернової сировини, підвищення поживності кормів, тимчасового зберігання та знезараження продукції. Результати дослідження процесу сушіння із застосуванням озону представлені в роботах вчених [1-5], які визначили особливості впливу озоноповітряної суміші на характеристики сировини при сушінні в залежності від концентрації озону, часу сушіння і т.д.

Результати експериментальних досліджень вібраційного сушіння і досвід промислової експлуатації обладнання показали наступні переваги застосування вібрацій при сушінні дисперсних матеріалів: інтенсивне перемішування частинок матеріалу; інтенсивне знімання вологи внаслідок постійного оновлення поверхні вологообміну; вирівнювання температури матеріалу в об'ємі сушильного апарату; поліпшення якості сушіння; зменшення енергетичних витрат; створення нових високоефективних вібраційних сушарок з регульованими параметрами вібрації [6].

3. Мета досліджень

Мета даної роботи полягає у дослідженні енергофізичних та термодинамічних процесів в електронному пристрої для синтезу озону у вібраційній сушарці з метою визначення енергоефективного сушіння зернової сировини при післязбиральній обробці.

4. Викладення основного матеріалу

Перспективність використання вібраційних сушарок та технології озонування сприяє створенню електронних пристроїв для синтезу озону підвищеної продуктивності – трубчастих озонаторів, що забезпечується 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 краями, навитої на стержень тригранної, чотиригранної, п'ятигранної і т.д. призми, який являє собою розімкнутий багатокутник, а саме, шестикутник [7].

На рис. 1 зображена робоча камера розробленого трубчастого озонатора.

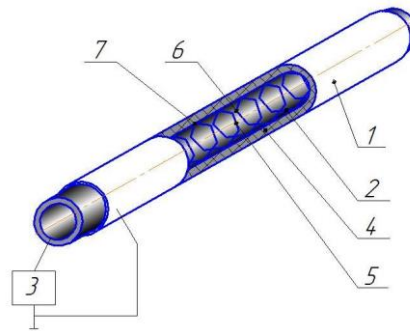


Рис. 1. Схема робочої камери розробленого трубчастого озонатора:

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

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 краями і розташовано з внутрішньої сторони діелектричного елемента 4 (рис. 2).

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 трубчастого діелектричного елемента 4. Металева стрічка внутрішнього електроду має гостроконечні краї 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.

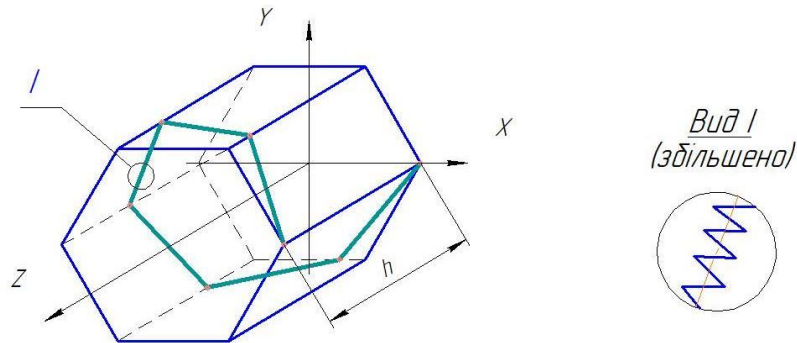


Рис. 2. Електрод із внутрішньої сторони діелектричного елемента у вигляді металеві стрічки з гостроконечними краями

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 [7].

Створення нового трубчастого озонатора вимагає теоретичного дослідження енергофізичних та термодинамічних процесів, які відбуваються в ньому, з метою обґрунтування та оптимізації його роботи в майбутньому.

Розрядний проміжок електроозонатора, як система, отримує енергію, яка витрачається на сукупність робіт:

$$dW_E = \sum dA_i \quad (1)$$

Оскільки енергія витрачається на заряд електричного поля відповідно до процесів, що відбуваються в розрядному проміжку до запалювання розряду, вираз набуде вигляду:

$$dW_{E_0} = dA_{EP}, \quad (2)$$

де dW_{E_0} – енергія, що витрачається до запалювання розряду.

Роботу електричного поля можна також назвати втратами на подолання діелектричних бар'єрів. З моменту запалювання розряду змінюється сукупність процесів, що відбуваються в розрядному проміжку. За сучасними уявленнями, озон утворюється в газовому середовищі, що містить кисень, при виникненні умов, при яких кисень дисоціює на атоми [8]. У нашому випадку причиною дисоціації є зіткнення молекулярного кисню з прискореними в електричному полі частинками. Таким чином, бар'єрний розряд супроводжується виділенням тепла, роботою на подолання діелектричних бар'єрів, світінням широкого спектра, утворенням озону, отже:

$$dW_{E_p} = \sum dA_i = dA_{EP} + dA_{Duc} + dA_{Cv} + dA_T, \quad (3)$$

де W_{E_p} – енергія, яка витрачається електроозонатором в режимі розряду; A_T – робота, спрямована на нагрів; A_{EP} – робота, спрямована на створення електричного поля; A_{Cv} – втрати на світлове випромінювання; A_{Duc} – робота дисоціації молекулярного кисню на атоми.

З моменту запалювання розряду, істотно збільшуються втрати, які значно перевищують енергію дисоціації [9]. З моменту запалювання розряду основним паразитуючим процесом є нагрів, який становить значну частину спожитої електроенергії. Основним негативним впливом нагріву на продуктивність є прискорення деструкції знову вироблених молекул озону [10]. Критична точка цього впливу супроводжується підвищенням споживаної потужності і різким падінням продуктивності електроозонатора.

Конструкція розробленого озонатора не передбачає наявності системи охолодження електродів, тому що вона багаторазово збільшує вартість пристрою, масогабаритні показники, крім того, може вимагати додатковий обслуговуючий персонал. Таким чином, запобігання перегріву



електроозонатора слід регулювати зміною напруги живлення і частоти струму.

Зі збільшенням температури різко збільшується швидкість третьої групи реакцій, яка приводить до розкладання озону. Швидкість дисоціації кисню не залежить від температури, а швидкість тримолекулярної реакції навіть дещо падає при нагріванні газу. Все це призводить до різкого падіння концентрації озону на виході і нестабільності роботи озонатора. Крім того, при нагріванні скла зростає ймовірність пробою бар'єрів, тому нагрівання бар'єрного електроозонатора вище критичного, неприпустимо.

Процес нагріву електроозонатора розглядається при наступних припущеннях: пристрій вважається суцільним однорідним тілом, що володіє нескінченно великою теплопровідністю; тепло, що віддається в навколишнє середовище, пропорційне першій ступені різниці температур електроозонатора і навколишнього середовища – перевищення температури; температура навколишнього середовища постійна; теплові втрати, теплоємність електроозонатора і коефіцієнт тепловіддачі не залежать від температури електроозонатора.

При зазначених умовах процес нагрівання та охолодження електроозонатора описується наступним диференціальним рівнянням:

$$A_t \cdot \tau + \frac{C_t d\tau}{dt} = \Delta P_m, \quad (4)$$

де τ – перевищення температури (різниця між температурою електроозонатора і температурою навколишнього середовища), °С; ΔP_m – потужність теплових втрат, Вт; A_t – тепловіддача (кількість теплоти, що передається навколишньому середовищу за 1 с при перевищенні температури на 1 °С), Дж/(°С·с), або Вт/К; C_t – теплоємність електроозонатора, Дж/К:

$$C_t = c_{рп} \cdot m_{рп}, \quad (5)$$

де $c_{рп}$ – питома теплоємність розрядного пристрою Дж/(кг·К); $m_{рп}$ – маса розрядного пристрою, кг.

Перевищення температури електроозонатора при його нагріванні (охолодженні) у випадку $\Delta P_m = const$ відбувається по експоненційному закону з постійною часу нагріву:

$$T_H = \frac{C_t}{A_t}. \quad (6)$$

З наведеного вище рівняння видно, що певна частка втрат, що виділяються в електроозонаторі з моменту його ввімкнення, витрачається на нагрів самого розрядного пристрою озонатора, а решта втрат розсіюються з поверхні або виносяться повітрям, що проходить через розрядний проміжок в навколишнє середовище. В цьому випадку постійну нагріву розрядного блоку електроозонатора можна визначити як:

$$T_H = \frac{C_t}{\omega_m \theta_v}, \quad (7)$$

де ω_m – коефіцієнт теплопередачі, $\omega_m = 0,278$ Вт/(м²·°С); θ_v – кількість тепла, яке переноситься потоком повітря:

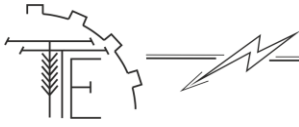
$$\theta_v = V \rho c (t_H - t_K), \quad (8)$$

де V – об'єм повітря, що проходить крізь робочу камеру озонатора, м³; ρ – густина повітря при нормальних умовах, $\rho = 1,223$ кг/м³; t_H – температура навколишнього середовища, °С; t_K – кінцева температура теплоносія, °С.

У міру нагрівання електроозонатора температура його поверхні підвищується, дедалі більша частина тепла передається в навколишнє середовище і нагрів пристрою стабілізується. При тривалій ($t = \infty$) роботі в незмінному режимі настає теплова рівновага, при якому всі виділені всередині пристрою втрати розсіюються в навколишнє середовище, а нагрів електроозонатора припиняється [$d(\Delta t) = 0$]. Такий режим називають сталим тепловим режимом. Він характеризується сталою температурою електроозонатора $\Delta t_{cm} = const$.

При цьому сталі перевищення температури:

$$\Delta t_{cm} = \frac{\mu P_m}{\omega_m \theta_v}. \quad (9)$$



Загальним рішенням рівняння (9) є вираз:

$$\Delta t = \Delta t_0 + (\Delta t_\infty - \Delta t_0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}}\right), \quad (10)$$

де Δt_0 – початкове (при $t=0$ °C) перевищення температури поверхні розрядного пристрою озонатора над температурою навколишнього середовища, °C; Δt_∞ – кінцеве (при $t=\infty$ °C) перевищення температури поверхні розрядного пристрою озонатора над температурою навколишнього середовища, °C; T_n – постійна часу нагріву, °C.

В окремому випадку нагрів розрядного пристрою озонатора з практично холодного стану (при $t=0$; $\Delta t_0=0$, при $t=\infty$; $\Delta t_\infty = \Delta t_{cm}$):

$$\Delta t = \Delta t_{cm} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}}\right). \quad (11)$$

Охолодження відключеного від мережі електроозонатора, який досяг сталої температури (при $t=0$; $\Delta t_0 = \Delta t_{cm}$, при $t=\infty$; $\Delta t_\infty = 0$):

$$\Delta t = \Delta t_{cm} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_0}\right)\right]. \quad (12)$$

Вибір режиму роботи електроозонатора необхідно здійснити таким чином, щоб в процесі його експлуатації дотримувалася умова:

$$t_{HC} + t_{max} = t_{кр}, \quad (13)$$

де $t_{кр}$ – допустиме значення температури для електроозонатора, яке визначається критичною температурою інтенсивної термічної деструкції озону.

На підставі роботи [11] приймаємо $t_{кр} = 70$ °C, при якій помітно збільшується швидкість реакцій, отриманих даним атомарним механізмом:



У виразі (14) це відображено, як різке зниження значення константи кінетики розкладу озону – K_0 . Дане явище істотно знижує ефективність роботи електроозонатора, оскільки розпадаються новоутворені молекули озону. Кількість його можна виразити:

$$\frac{K_0}{K_1} = \exp\left(-\frac{\Delta H}{R\tau}\right). \quad (15)$$

В розрядному проміжку основним конструкційним елементом схильним до нагрівання є діелектричні бар'єри, між якими і відбувається бар'єрний розряд. Таким чином, температура діелектричних бар'єрів складним чином залежить від потужності, яка розсіюється на розрядному пристрої, тепловіддачі розрядного пристрою, температури вхідного газу з навколишнього середовища, і має вигляд:

$$t_{ДБ} \leq t_{кр}. \quad (16)$$

$$t_{ДБ} = t_{HC} + \frac{\mu P_{py}}{\omega_m \theta_v}, \quad (17)$$

де μ – коефіцієнт, що враховує частку активної потужності, яка витрачається на нагрів.

Рішенням рівняння теплового балансу розрядного проміжку електроозонатора є:

$$t_{ДБ} = t_{HC} + \frac{\mu P_{py}}{\omega_m \theta_v} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}}\right). \quad (18)$$

Проведені теоретичні дослідження дозволяють оптимізувати параметри джерела живлення електронного пристрою для синтезу озону за критерієм температури діелектричних бар'єрів, тобто, підвищити ефективність його роботи при сушінні зернової сировини у вібраційній сушарці.



5. Висновок

Перспективність використання вібраційних сушарок та технології озонування сприяє створенню електронних пристроїв для синтезу озону підвищеної продуктивності – трубчастих озонаторів, що забезпечується за рахунок збільшення неоднорідності напруженості електричного поля між електродом із зовнішнього боку діелектричного елемента і електродом з внутрішньої сторони діелектричного елемента.

Представлені результати теоретичного дослідження енергофізичних та термодинамічних процесів, які відбуваються в розробленому електронному пристрої для синтезу озону, дають змогу обґрунтувати та оптимізувати його роботу в майбутньому і забезпечити енергоефективне сушіння зернової сировини при післязбиральній обробці.

Список використаних джерел

1. Jose Granella S., Raquel Bechlin T., Christ D. and oth. Improvement of heat & mass transfer with added ozone into drying air on corn-soy. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2019. Vol. 12. Iss. 4. P. 427–434.
2. Kleperis J., Kristins A., Veinbergs J. and oth. Application of ozone in grain drying: autonomous sensor system construction and peculiarities. *Proceedings of the 9th International Scientific Conference Rural Development*. 2019. P. 34–39.
3. Straumite E., A. Rucins A., Viesturs D. and oth. Evaluation of ozone influence on wheat grain quality during active drying. *Agronomy Research*. 2021. № 19 (3). P. 1308–1317.
4. Станкевич Г.М., Бабков А.В. Озон в технологіях обробки та зберігання зерна пшениці: монографія. Херсон, 2015. 268 с.
5. Кирпа М.Я., Базілева Ю.С., Лупітько О.І. Нетрадиційні методи зберігання зерна для виробництва органічної продукції. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 7 (784). С. 73–78.
6. Цуркан О.В. Вібромеханічна інтенсифікація сушіння насіння баштанних культур у процесі післязбиральної обробки: дис. ... докт. техн. наук.: 05.05.11 / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2001. 358 с.
7. Цуркан О.В., Полєвода Ю.А., Присяжнюк Д.В. Розробка та дослідження високопродуктивного електронного пристрою для синтезу озону у вібраційній сушарці. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. № 3 (102). С. 15–23.
8. Sponholtz D., Walters M., Tung J. and oth. A Simple and efficient ozone generator. *Journal of Chemical Education*. 1999. № 76 (12). P. 1712–1713.
9. Eliasson B., Hirth M., Kogelschatz U. Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharges. *Journal of Physics: Applied Physics*. 1987. Vol. 20. № 11. P. 1421.
10. Петровський О.М., Кузнецова Т.Ю. Курись Ю.О. Теоретичне моделювання фізичних процесів іонізації середовища. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. № 1-2. С. 151–156.
11. Benson S.W., Axworthy A.E. Mechanism of Gas Phase Decomposition of Ozone. Thermal and Photochemical Reactions. *Ozone chemistry and technology*. 1957. № 52. P. 388–397.

References

- [1]. Jose Granella, S., Raquel Bechlin, T., Christ, D. (2019). Improvement of heat & mass transfer with added ozone into drying air on corn-soy. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 12(4). 427–434. [in English].
- [2]. Kleperis, J., Kristins, A., Veinbergs, J. (2019). Application of ozone in grain drying: autonomous sensor system construction and peculiarities. *Proceedings of the 9th International Scientific Conference Rural Development*. 34–39. [in English].
- [3]. Straumite, E., A. Rucins, A., Viesturs, D. (2021). Evaluation of ozone influence on wheat grain quality during active drying. *Agronomy Research*. 19 (3). 1308–1317. [in English].
- [4]. Stankevych, H.M., Babkov, A.V. (2015). Ozon v tekhnolohiiakh obrobky ta zberihannia zerna pshenytsi: monohrafiia. Kherson. 268 s. [in Ukrainian].
- [5]. Кирпа, М.Я., Bazilieva, Iu.S., Lupitko, O.I. (2018). Netradytsiini metody zberihannia zerna dlia vyrobnytstva orhanichnoi produktsii. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 7 (784). 73–78. [in Ukrainian].
- [6]. Tsurkan, O.V. Vibromekhanichna intensyfikatsiia sushinnia nasinnia bashtannykh kultur u protsesi pisliazbyralnoi obrobky: dys. ... dokt. tekhn. nauk.: 05.05.11 / NNTs «IMESH». Hlevakha, 2001. 358 s. [in Ukrainian].
- [7]. Tsurkan, O.V., Polievoda, Yu.A., Prysiazhniuk, D.V. (2021). Rozrobka ta doslidzhennia vysokoproduktyvnoho elektronnoho prystroiu dlia syntezy ozonu u vibratsiinii sushartsi. *Vibratsii v*



- tekhniysi ta tekhnolohiiakh*. 3 (102). 15–23. [in Ukrainian].
- [8]. Sponholtz, D., Walters, M., Tung, J. (1999). A Simple and efficient ozone generator. *Journal of Chemical Education*. 76 (12). 1712–1713. [in English].
- [9]. Eliasson, B., Hirth, M., Kogelschatz, U. (1987). Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharges. *Journal of Physics: Applied Physics*. 20 (11). 1421. [in English].
- [10]. Petrovskyi, O.M., Kuznetsova, T.Iu. Kurys, Yu.O. (2017). Teoretychne modeliuвання fizychnykh protsesiv ionizatsii seredovyshcha. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 1-2. 151–156. [in Ukrainian].
- [11]. Benson, S.W., Axworthy, A.E. (1957). Mechanism of Gas Phase Decomposition of Ozone. Thermal and Photochemical Reactions. *Ozone chemistry and technology*. 52. 388–397. [in English].

RESEARCH OF ENERGY-PHYSICAL AND THERMODYNAMIC PROCESSES IN AN ELECTRONIC DEVICE FOR OZONE SYNTHESIS

The post-harvest processing of grain, especially drying, is one of the most important in the technology of agricultural production. This treatment contributes to obtaining high quality products, their long and effective preservation until the next harvest.

To obtain grain raw materials of conditioned humidity and reduce energy consumption in agricultural production, various methods of intensifying drying are used: vibration drying, recirculation drying, preheating, vacuum drying, drying using infrared radiation, drying by high frequency currents, drying grain under the influence of an electric field, etc. The use of vibration dryers in combination with ozonation technology, which plays the role of an additional factor in intensifying the drying process, is promising from the point of view of energy consumption and the quality of the obtained raw materials.

Ozone inhibits seed respiration, which in turn contributes to the preservation of a larger supply of nutrients before sowing compared to untreated material. Accelerating the decomposition of complex proteins and starch into constituent elements, ozone, being a strong oxidizing agent, simultaneously acts as an effective disinfectant that destroys the infection of Fusarios and smut fungi.

The prospect of using vibration drying and ozonation technology contributes to the creation of electronic devices for the synthesis of ozone with increased productivity - tubular ozonizers, which is ensured by increasing the inhomogeneity of the electric field strength between the electrode on the outside of the dielectric element and the electrode on the inside of the dielectric element.

The paper presents the results of a theoretical study of energy-physical and thermodynamic processes that occur in the developed electronic device for the synthesis of ozone in order to substantiate and optimize its operation in the future and to ensure energy-efficient drying of grain raw materials during post-harvest processing.

Keywords: grain raw materials, post-harvest processing, drying, vibration dryer, ozonizer, thermodynamic processes.

F. 18. Fig. 2. Ref. 11.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Присяжнюк Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, доцент за сумісництвом кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету, заступник директора з навчальної роботи Відокремленого структурного підрозділу «Ладижинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету» (вул. П. Кравчика, 5, м. Ладижин, Вінницька обл., 24321, Україна, e-mail: dima061992@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-6369-5781>).

Dmytro Prysiashniuk – Ph.D., part-time associate professor of the Department of Machinery and Equipment for Agricultural Production of Faculty of Engineering and Technology of Vinnytsia National Agrarian University, deputy director for academic affairs of Separated structural unit «Ladyzhyn Professional 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>).