
ОЦІНКА ВІБРАЦІЙНИХ І ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОЛОЖЕННЯ ВИСОКОВОЛОГИХ ТА РІДКИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

І. П. ПАЛАМАРЧУК, доктор технічних наук, професор кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК
<https://orcid.org/0000-0002-0441-6586>
E-mail: vibroprocessing@gmail.com

Н. М. СЛОБОДЯНЮК, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів
<https://orcid.org/0000-0002-7724-2919>
E-mail: slob2210@ukr.net

О. А. ЗОЗУЛЯК, аспірант кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК
<https://orcid.org/0000-0002-5024-4551>
E-mail: ksuxazoz1980@gmail.com

А. Р. ІВОЛГА, студентка* факультету харчових технологій та управління якості продукції АПК
<https://orcid.org/0000-0001-9485-6720>
E-mail: anastasiaivolga@ukr.net

Національний університет біоресурсів та природокористування України

Анотація. Збільшення рушійної сили процесу зневоложення насіння гарбуза та іншої високовологої сільськогосподарської сировини підвищили шляхом центрифугування за обертання ротора, створення електроосмотичного ефекту за ефективних умов для одnobічної дифузії, процесу фільтрування середовища через перфорації ротора. Для зменшення технологічного опору за зневоложення створювали псевдозрідений шар продукції за рахунок надання робочій ємкості коливального руху. Для визначення раціональних параметрів процесу вібровідцентрового вологовидалення із застосуванням електроосмотичного ефекту було розроблено експериментальну вібраційну установку, пристрій формування електричного поля, вимірювально-регульовальне оснащення у вигляді мікроконтролерної системи. Комплекс розробленого обладнання забезпечував послідовне проведення триетапного вібраційного фільтраційно-конвективного сушіння високовологого насіння гарбуза шляхом чергування дії потоку теплоносія, електромагнітного поля, низькочастотних коливань у їх певних комбінаціях та зміні технологічних параметрів. Інтенсивність вібраційного фільтраційно-

* Науковий керівник - доктор технічних наук, професор І. П. Паламарчук

осмотичного зневоднення досягає максимуму за значень віброприскорення близько 35-40 м / с². Були отримані залежності швидкості дифузії за зневоложення від таких факторів, як асиметрія напівперіодів змінного струму, густина струму, частота змінного струму, асиметрія напівперіодів струму за трикутної, синусоїдної та прямокутної форми струму, віброприскорення. Час обробки для досягнення потрібної вологості під час застосування вібраційного, фільтраційного та електроосмотичного ефекту виявився вдвічі меншим, ніж для фільтраційного сушіння у нерухомому шарі. Запропонована технологія покращує техніко-економічні параметри процесів зневоложення, зокрема, питомі енерговитрати на видалення 1 кг вологи знижуються в 2,7 рази порівняно з традиційним конвективним сушінням. Комбінування технологічною дією відзначених фізико-механічних чинників дозволило значно інтенсифікувати процес зневоложення рідких дисперсних систем у харчових виробництвах та первинній переробці сільськогосподарської сировини та продукції.

Ключові слова: вібровідцентрове вологовидалення, електроосмотичний ефект, мікроконтролерна система, віброприскорення, параметри змінного струму, високовологе насіння, низькочастотні коливання

Актуальність.

Процеси зневоложення та сушіння є одними найбільш поширених процесів харчових виробництв, первинної переробки сільськогосподарської сировини та продукції. Застосування за реалізації вказаних процесів таких зовнішніх силових факторів інтенсифікації, як накладання у робочих середовищах низькочастотних коливань та електромагнітного поля набуває все більшого розповсюдження завдяки можливості максимального підвищення контактної взаємодії елементів дисперсних систем за значного зменшення внутрішнього тертя та відповідно енерговитрат на процес. Вплив вібрації на технологічні системи є досить ефективним загальним засобом керування динамічним станом оброблюваної сировини за здійснення таких технологічних рухів, як передача великих потоків енергії системам за незначної амплітуди коливань її робочих органів; значне збільшення та інтенсивне оновлення

поверхонь взаємодії технологічних середовищ, підвищення швидкості конвективної дифузії, зниження ефективної густини матеріалу та зміну реологічних і структурно-механічних властивостей сировини для харчової та фармацевтичної промисловостей, кормоприготування, мікробіологічних виробництв.

Найбільший ефект використання представлених засобів інтенсифікації технологічної дії спостерігається при обробці сипкої сировини. Вплив вказаних фізико-механічних факторів на данні системи є недостатньо дослідженим, що обґрунтовує актуальність даної наукової роботи та мас широкі перспективи для розвитку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Реалізація складних гідромеханічних процесів, таких як комбіноване вібромеханічне відтискування, перемішування з подрібненням дисперсних часток (Chueshov et al., 2003;

Bobylev et al., 1991), рівномірний розподіл компонентів високовологих дисперсних систем за зневоложення продукції та приготування кормосумішей, преміксів та інших висококалорійних компонентів (Palamarchuk et al., 2009; 2016) відбувається у сучасних технологічних процесах за рахунок створення зсувних деформацій у всій масі продукту за допомогою лопатей, шнеків відцентрової дії та інших механічних робочих органів (Bal-Prylupko et al., 2019), кавітаційних та ультразвукових ефектів, що супроводжується значними енерговитратами, побічним руйнівним впливом на елементи конструкцій та регулювальної апаратури. Об'єднують дані роботи необхідність застосування виконавчих органів, що реалізують складну технологічну дію під час перемішування, подрібнення та розділення дисперсних часток і дисперсійних мас у рідких та високовологих неоднорідних середовищах. Тому висувається гіпотеза щодо можливості значного підвищення рушійної сили процесу видалення вологи за комбінованого вібровідцентрового та електроосмотичного впливу.

Коливання робочого органа спричиняє як загальну циркуляцію завантаженої маси, так і відносне хаотичне переміщення компонентів суміші, що призводить до послаблення сил зчеплення між частками технологічного середовища, руйнування утворених конгломератів, зміни реологічних характеристик матеріалу – в'язкості, модуля зсуву, ефективного коефіцієнта тертя, сил адгезійного зчеплення тощо. Водночас спостерігається поява додаткових ефектів: руйнування зерен матеріалів, коагуляційних структур, звільнення додаткових поверхонь, колоїдний помел, збіль-

шення диспергування компонентів системи. Електроосмотичні процеси у високовологому шарі сировини за поєднання з вібраційною дією дозволяє значно збільшити рушійну силу процесів фільтрування, зневоложення та розділення рідких неоднорідних систем (Sorokopud, 2009).

В умовах низькочастотних коливань високодисперсні матеріали з точковими контактами та структури з коагуляційними контактами, які утворюються між частками твердих фаз, що розділені прошарками рідкого дисперсійного середовища, майже повністю відновлюються після руйнування. Матеріал з конденсаційними або кристалізаційними структурами, що містять контакти між фазами, утворені після затвердіння прошарків між частками твердих фаз характеризується незворотними процесами формоутворення після зняття навантаження. Для грубодисперсних систем у стані псевдозрідження частки продукції здійснюють безвідривний рух один відносно одного, що приводить до ущільнення структури; стан псевдокипіння супроводжується відриванням та збільшенням об'єму шару матеріалу. Водночас відкритими питаннями залишаються аналіз закономірностей зміни параметрів представлених заходів інтенсифікації за обґрунтування робочих режимів обробки рідкої та високовологої сировини.

Метою дослідження є визначення режимних параметрів вібраційного та електроосмотичного зневоложення пектиномісткої сировини за рахунок аналізу експериментальних досліджень даного процесу, закономірностей зміни основних характеристик низькочастотних коливань та електромагнітного поля.

Матеріали і методи дослідження.

Для оцінки основних технологічних та електротехнічних параметрів віброосмотичного зневоложення високовологого насіння гарбуза була розроблена дослідна модель віброосмотичного зневоложувача та виготовлений комплекс спеціальних приладів, що забезпечують вимірювання даних характеристик та їх автоматичне регулювання (рис.1).

Мікроконтролерна система в режимі реального часу дозволила на

дисплеї персонального комп'ютера отримати інформацію про основні параметри процесу, що дало змогу оптимізувати режими обробки високоволигових насінневих матеріалів, що спостерігається в динаміці нагрівання насіння без його нагріву до гранично допустимих значень. Задана температура сушильного агента підтримувалась автоматично за можливості її оперативного регулювання за допомогою регулятора потужності. Задана частота та амплітуда вібрацій установлювались незалежно за

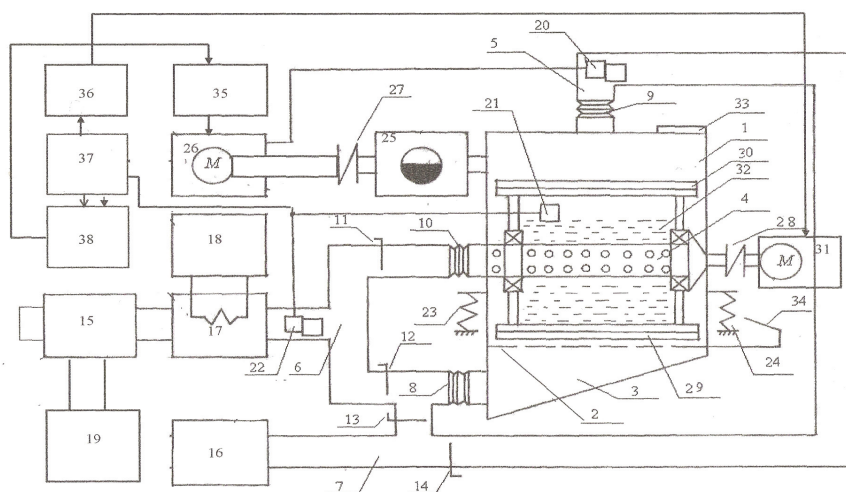


Рис. 1. Блок-схема вимірювального блоку для оцінки параметрів віброосмотичного зневоложення високовологого насіння гарбуза:

- 1 - сушильна камера; 2 - перфороване U- подібне днище; 3 - дифузор;
 4 - перфорований порожнистий циліндричний вал; 5,6,7 – магістралі подачі та відбору сушильного агента; 8,9,10 – еластичні з'єднання;
 11,12,13,14 – герметизуючі засувки; 15,16 – вентилятори;
 17 – електронагрівач; 18 – керований регулятор потужності; 19 – реактор подачі теплоносія; 20, 21,22 – датчики температури та відносної вологості сушильного агента; 23, 24 – пружні опори 25, 26 – віброзбуджувач;
 27, 28 - еластичні муфти; 29 – еластичний скребок; 30 – робоча лопать;
 31 – привод перемішувача; 32 – продукція; 33, 34 – завантажувальний та розвантажувальний патрубки; 35 – пристрій регулювання та вимірювання параметрів вібрацій: регулятор частоти MITSUBISHIFR-E540, портативний віброаналізатор АГАТ-М; 36 – пристрій регулювання частоти обертів перемішувача; 37 – мікроконтролерний пристрій; 38 – комп'ютер

допомогою електронного пристрою та шляхом зміни кута установки дебалансів віброзбуджувача.

З метою визначення оптимальних параметрів процесу вологовидалення із застосуванням вібраційного та електроосмотичного ефектів було проведено дослідження різних способів вологовидалення за наступною послідовністю. На першому етапі досліджувався процес фільтраційного сушіння в нерухомому шарі, за якого до нерухомої робочої камери через перфорований циліндр подавався сушильний агент, який проходив через шар насіння і видалявся через перфороване днище сушильної камери. На другому етапі сушильній камері надавались коливання за допомогою віброзбуджувача, що був змонтований на зовнішньому кожусі. У процесі обробки за певних значень амплітуди і частоти вібрацій фіксувалась тривалість зневоложення. На третьому етапі досліджень використовувались пристрої формування, задання та автоматичного регулювання густини струмів електродів; за зміни значень частоти, асиметрії та густини струмів відслідковувався їх вплив на час вологовидалення.

В якості модельного об'єкта обробки виступають високовологе насіння бахчевих культур, жом та інша пектиномістка сировина, а досліджуваним процесом є зневоложення, у перспективі широкого спектру рідких дисперсних систем та високовологих матеріалів харчових і переробних виробництв.

Дослідження процесів сушіння проводились за загальною методикою, яка передбачала вимірювання вологості насіння в залежності від часу обробки. Насіння початковою вологістю 60% подавалось через завантажувальний пристрій і займало $\frac{3}{4}$ її об'єму. Інтенсивність вологовидалення

контролювалась за різницею відносної вологості сушильного агента на вході і виході з сушильної камери. Дослідження впливу вібрацій на процеси вологовидалення були реалізовані під час застосування акселерометра у режимі автономного зонда, розміщеного на додатковій турбулізуючій поверхні перемішувача-очишувача, який окрім вібрацій здійснював обертальний рух з приводом від окремого двигуна.

Результати дослідження та їх обговорення.

Основними складовими досліджуваної установки (рис. 1, 2) є робоча камера 1 з прозорого термостійкого скла циліндричної форми з перфорованим днищем, нижня площина якого розміщена на чотирьох пружних опорах 2. Нижня площина конструктивно з'єднана з дифузorzом 11, який знизу переходить у конічний патрубок і через еластичне з'єднання 8 сполучається з нижньою магістраллю подачі-відбору сушильного агента. Аналогічно через верхній конічний патрубок під'єднана верхня магістраль подачі-відбору сушильного агента. Кожна з магістралей має окремий вентилятор 16 та електронагрівач 19. Нижній конічний патрубок через тягу з'єднаний з осердям електромагнітного віброзбуджувача 3, який забезпечує вібрації сушильної камери, зазвичай, у вертикальній площині.

Конструкція розробленої вібраційно-осмотичної сушильної установки також передбачала можливість зміни положення віброзбуджувача на зовнішній циліндричній поверхні відносно зовнішнього кожуха практично в межах (0-360°) з кроком 45°, що дало можливість визначити раціональні просторові координати віброзбуджувача та відстежити відповідні траск-

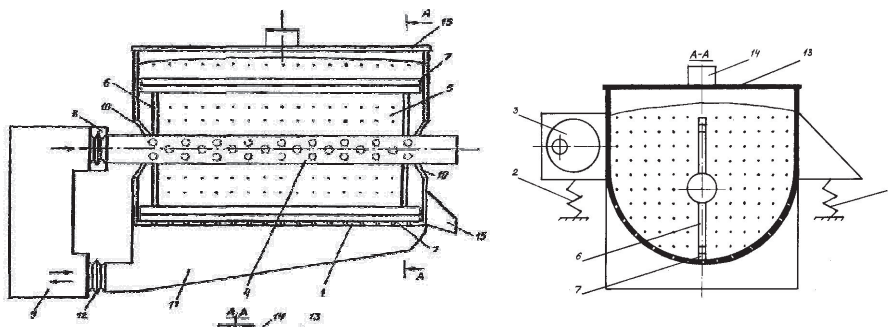


Рис. 2. Конструктивна схема вібраційної дослідно-промислової сушарки для фільтраційно-конвективного сушіння насіння: 1 – робоча камера; 2 – пружини; 3 –віброзмішувач; 4 – циліндр порожнистий; 5 – насіння; 6 – лопаті; 7 – скребки; 8, 12 – з’єднання еластичне; 9 – агент сушильний; 10 – вставки еластичні; 11 – дифузор; 13 – панель верхня; 14 – отвір завантажувальний; 15 – лоток розвантажувальний

торії руху днища сушильної камери: спостерігається максимальне співвідношення вертикальної горизонтальної складової амплітуди вібрацій за величини даного кута у межах 270° .

За обґрунтування використання комбінації фізико-механічних чинників інтенсифікації процесу зневоложення насіння гарбуза виявилось, що застосування вібраційного фільтра-

ційного сушіння з електроосмотичним ефектом в 1,44 раза зменшує час видалення вологи порівняно із фільтраційним сушінням у нерухомому шарі продукції (рис. 3).

За величини асиметрії напівперіодів змінного струму (рис. 4) більше 8 одиниць спостерігається стабілізація швидкості зневоложення на величині 1,22 % / хв. Досягнення максимальної

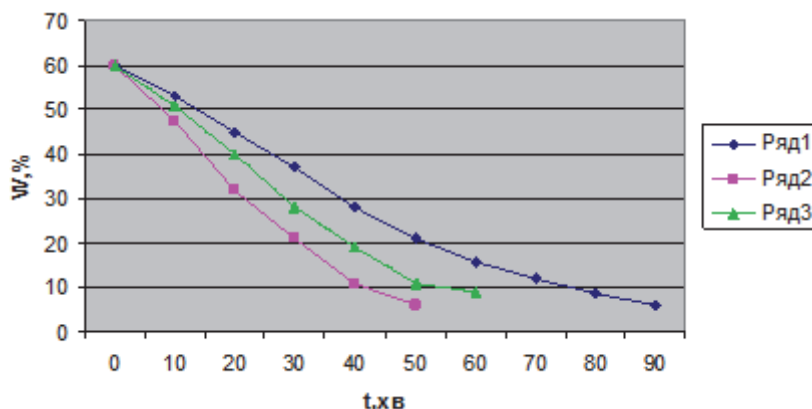


Рис. 3. Залежність вологості насіння від часу сушіння за різних способів вологовидалення: 1 – фільтраційне сушіння в нерухомому шарі; 2 – вібраційне фільтраційне сушіння; 3 – вібраційне фільтраційне сушіння з застосуванням електроосмотичного ефекту

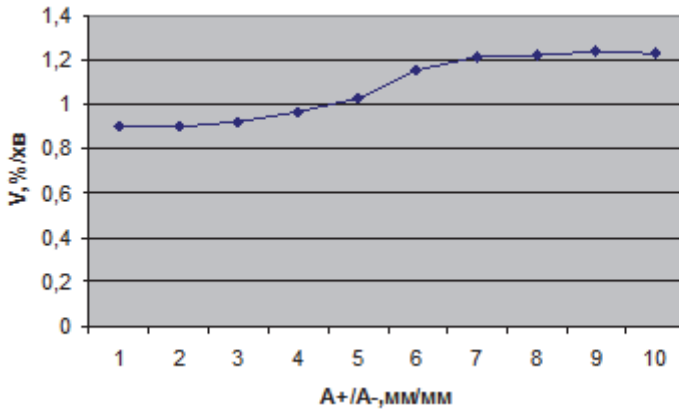


Рис. 4. Залежність швидкості зневоднення V від асиметрії напівперіодів змінного струму A+/A-

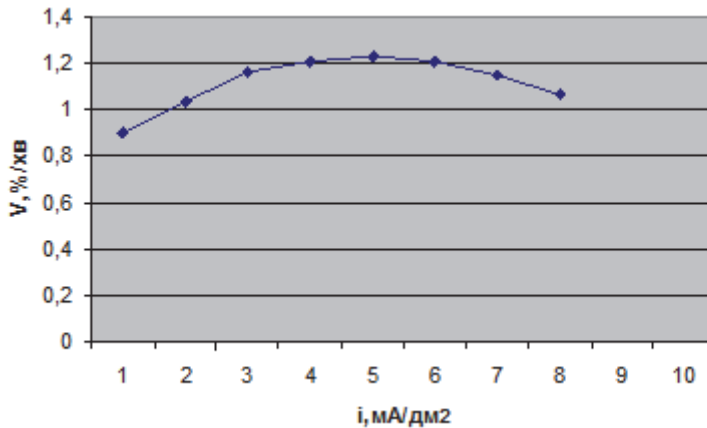


Рис. 5. Залежність швидкості зневоднення V від густини струму i

швидкості сушіння насіння гарбуза має місце під час досягнення густини струму 5,3 мА / дм² (рис. 5). За частоти змінного струму вище 40 Гц досягається та підтримується максимальна швидкість вологовидалення (рис. 6). В умовах трикутної форми зміни параметрів напруги відбувається стабілізація швидкості зневоложення на максимальній величині, у разі прямокутної форми процес дифузії вологи уповільнюється на 20 %, а за синусоїдальної форми швидкість видалення вологи

набуває стійкої тенденції до зниження вже за величини асиметрії напівперіодів змінного струму (рис.7) більше 5 одиниць. Експериментальні дослідження впливу параметрів вібрацій на інтенсивність фільтраційно-осмотичного зневоднення насіння гарбуза (рис.8) виявили, що віброприскорення зовнішньої має екстремум за значень близько 35-40 м / с².

Проведені експериментальні дослідження процесу вологовидалення із насіння гарбуза за комбінованої дії ві-

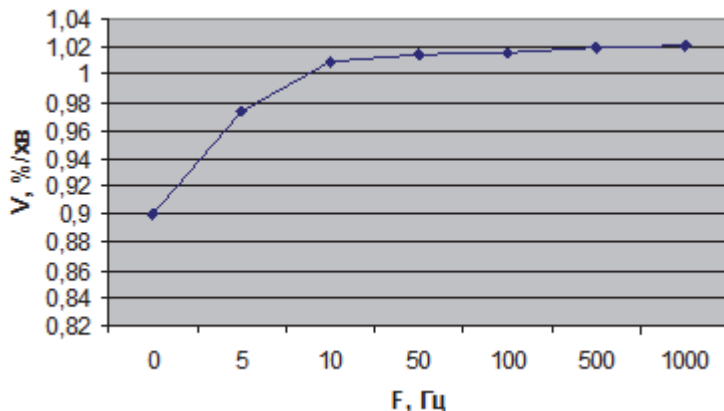


Рис. 6. Залежність швидкості зневоднення V від частоти змінного струму f

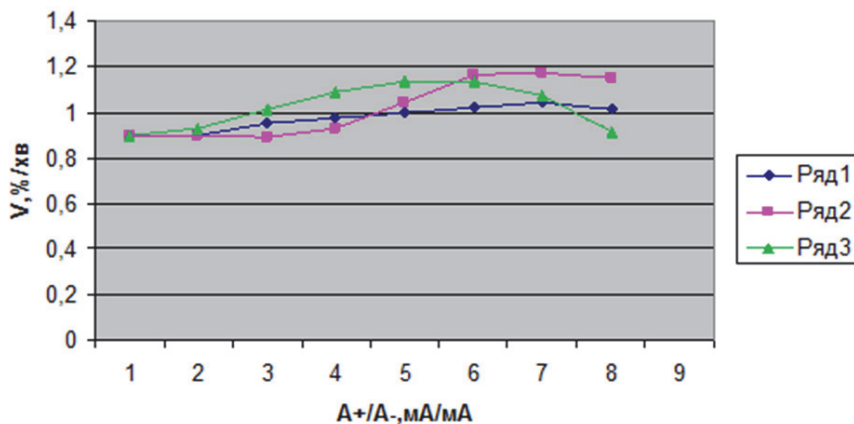


Рис. 7. Залежність швидкості вологовидалення V від асиметрії напівперіодів електричного струму A+/A- за різної форми зміни параметрів напруги: 1-прямокутній; 2- трикутній (пилкоподібній); 3-синусоїдальній

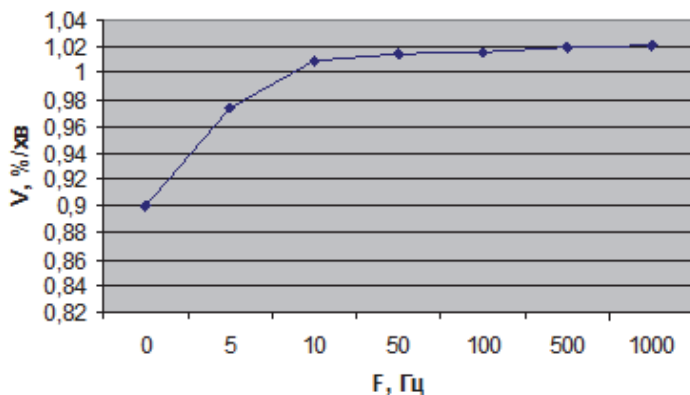


Рис. 8. Залежність швидкості зневоднення від віброприскорення

браційних та електроосмотичних чинників інтенсифікації дозволили визначити раціональні значення амплітуди, частоти коливань та основних параметрів змінного електричного струму для забезпечення та підтримання максимальної швидкості дифузії вологи із матеріалу продукції.

Висновки і перспективи

Враховуючи наведені напрями вдосконалення процесу осмотичного вологовидалення з метою визначення оптимальних конструктивних параметрів обладнання та режимних параметрів процесу, було розроблено функціональну схему комплексу пристроїв, основою якого є експериментальна вібраційна установка.

Час обробки для досягнення потрібної вологості під час застосування вібраційного, фільтраційного та електроосмотичного ефекту виявився вдвічі меншим, ніж для фільтраційного сушіння у нерухомому шарі.

Проведені дослідження дозволили визначити оптимальні параметри процесу зневолення термолабільних матеріалів із застосуванням електроосмотичного ефекту: віброприскорення $A\omega^2 - 38 \text{ м/с}^2$; асиметрія амплітуд змінного струму $A+/A - 7,5 \text{ мм/мм}$; середнє значення густини струму $i - 5 \text{ мА/см}^2$; частота змінного струму $F - 24 \text{ Гц}$; ефективна форма струму – трикутна (пилкоподібна); координати установки вібробуджувача відносно корпусу установки складають 270° .

Список використаних джерел

1. Чуешов В. И., Хохлова Л. М., Ляпунова О. О. и др. 2003. Технология лекарств промышленного производства. под ред. В. И. Чуешова. Х.: Изд-во НФаУ, 720 с.

2. Бобылев Р. В., Грядунова Г. П., Иванова Л. А. 1991. Технология лекарственных форм. / под ред. Л. А. Ивановой. Учебник в 2-х томах. Том 2. М.: Медицина, 544 с.
3. Паламарчук И. П., Липовый И. Г., Янович В. П. 2009. Развитие конструктивных схем виброцентробежных технологических машин для реализации процессов механической обработки сельскохозяйственного сырья. Вибрации в технике и технологиях. №2(54), С. 105-115.
4. Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Костенко О. М. Вібраційні процеси та обладнання у переробному сільськогосподарському виробництві. Вінниця: ВЦ ВНАУ, 2016. 266 с.
5. Баль-Прилипка Л. П., Паламарчук І. П., Ніколаєнко М. С. 2019. Моделювання інтенсифікації системи очищення промислових стоків на м'ясопереробних підприємствах. Продовольча індустрія АПК. №3-4. С.10-15.
6. Сорокопуд А. Ф. Технологическое оборудование. Традиционное и специальное технологическое оборудование предприятий пищевых производств: учебное пособие. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2009. 202 с.

References

1. Chueshov, V., Khokhlova, L., Lyapunova, O. et al. (2003). Tekhnologiya lekarstvennykhform [Technology of drugs for industrial production]/ ed. Chueshov. Publishing House of theNFaU, 720. [in Russian].
2. Bobilev, R., Gryadunova, G., Ivanova, L. (1991). Tekhnologiya lekarstvennykh form.[Technology of dosage forms / ed. L. Ivanova]. Vol. 2. М.: Meditsina [Medicine], 544. [in Russian].
3. Palamarchuk, I., Lipovy, I., Yanovich, V. (2009). Razvitiye konstruktivnykh skhemvibrocentrobeznykh tekhnologicheskikh mashin dlya realizatsii protsessov mekhanicheskoyobrabotki selskokhozyaystvennogo syria. Vibratsii v tekhnike i tekhnologiyakh [Development of structural schemes of vibrocentrifugal tech-

- nological machines for the implementation of mechanical processing of agricultural raw materials. Vibrations in engineering and technology] № 2 (54), 105-115. [in Russian].
4. Palamarchuk, I., Tsurkan, O., Kostenko, O. 2016) Vibratsiini protsesy ta obladnannia upererobnomu silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Vibration processes and equipment in processing agricultural production]. Vinnitsa: Higher School of Higher Education. 266 p. [in Ukrainian].
 5. Bal-Prylypko, L., Palamarchuk, I. P., Nikolaenko, M. S. (2019). Modeliuvannia intensyfikatsiisystemy ochyshchennia promyslovykh stokiv na miasopererobnykh pidpriemstvakh [Modeling the intensification of industrial wastewater treatment at meat processing plants. The agro-food industry]. (3-4). С. 10–15. [in Ukrainian].
 6. Sorokopud, A. (2009). Tehnologicheskoe oborudovanye. Tradycionnoe y specialno-ehnologicheskoe oborudovanye predpryatyj pyshhevih proyzvodstv: uchebnoe posobye [Technological equipment. Traditional and special technological equipment of food production enterprises: textbook], Kemerovo, Kemerovskiy tehnologicheskij ynstitut pyshhevoj promishlennosti [Kemerovo Technological Institute of Food Industry], 202 [in Russian].

I. P. Palamarchuk, N. M. Slobodianuk, O. A. Zyzuliak, A. R. Ivolga (2020). VALUATION OF VIBRATION AND ELECTRIC TECHNICAL PARAMETERS OF DRAINING PROCESS THE HIGH-DAMP AND LIQUID HETEROGENEOUS SYSTEMS OF PROCESSING. ANIMAL SCIENCE AND FOOD TECHNOLOGY, 11(1): 67-76.

<https://doi.org/10.31548/animal2020.01.067>.

Abstract. Increasing the driving force of the process of dehumidification pumpkin and other high-water agricultural produce, was increased by centrifugation when rotating the rotor, creating an electro-osmotic effect when creating effective conditions for unilateral diffusion, the process of filtering the medium through the perforations of the rotor. To reduce technological resistance in the presented processes created a fluidized bed of products by providing a working capacity of oscillatory motion. To determine the rational parameters of the process of vibration centrifugal moisture removal with the use of electro-osmotic effect, an experimental vibration unit, a device for forming an electric field, measuring and control equipment in the form of a microcontroller system were developed. The complex of the developed equipment ensured the sequential carrying out of three-stage vibration filtration-convective drying of high-water pumpkin seeds by alternating the action of the flow of coolant, electromagnetic field, low-frequency oscillations in their certain combinations and change of technological parameters. The intensity of vibrational filtration-osmotic dewatering reaches a maximum at values of vibration acceleration of about 35- 40 m / s². Dependences of the diffusion rate upon dehydration were obtained from such factors as asymmetry of AC half-periods, current density, AC frequency, asymmetry of AC half-periods with triangular, sinusoidal and rectangular currents, vibration acceleration. The processing time to achieve the required humidity when applying vibration, filtration and electro-osmotic effect was twice less than for filtration drying in a fixed layer. The proposed technology improves the technical and economic parameters of the dehumidification processes, in particular, the specific energy consumption for removing 1 kg of moisture is reduced by 2.7 times compared to traditional convective drying. Combining with technological operation of physical and mechanical factors gave the opportunity for intensification of the process of dehumidification the liquid heterogeneous systems in processing and the first curing the agricultural produce.

Keywords: vibration centrifugal moisture removal, electroosmotic effect, microcontroller system, vibration acceleration, AC parameters, high humidity seeds, low frequency oscillations.