

ЦУРКАН ОЛЕГ

Відокремлений структурний підрозділ «Ладизинський фаховий коледж

Вінницького національного аграрного університету»

ORCID ID: [0000-0002-7218-0026](https://orcid.org/0000-0002-7218-0026)e-mail: tsurkan_ov76@ukr.net

РУТКЕВИЧ ВОЛОДИМИР

Вінницький національний аграрний університет

ORCID ID: [0000-0002-6366-7772](https://orcid.org/0000-0002-6366-7772)e-mail: v_rut@ukr.net

ДІДИК АНДРІЙ

Вінницький національний аграрний університет

ORCID ID: [0000-0002-0524-0017](https://orcid.org/0000-0002-0524-0017)e-mail: anddidyk99@gmail.com

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розглянуто питання підвищення якісних показників волоських горіхів в процесі зберігання та переробки за рахунок теоретичних досліджень процесу сушіння волоських горіхів у вібраційній машині.

На основі аналізу наукових досліджень з даної тематики встановлено, що використання вібраційних технологій підвищує ефективність сушіння волоських горіхів і дозволяє зменшити час сушіння до 30-40 % в порівнянні з традиційними методами. Крім того, вібраційні технології дозволяють зберегти якість горіхів, зменшуючи вплив тепла на їх структуру.

Зазначено, що вібраційні технології покращують процес сушіння за рахунок стимулювання руху вологи з поверхні волоських горіхів. При цьому на практиці застосовують різні типи вібрації, такі як лінійна, коливальна, відцентрова та ультразвукова.

Розроблено конструктивно-технологічну схему вібраційної машини для сушіння волоських горіхів в шкаралупі. Під час вібраційного сушіння у вібраційній машині волоський горіх розміщується на віброючій поверхні, яка генерує механічні коливання, що допомагають розподілити тепло та вологу по всьому волоському горіху. Використання запропонованої конструкції вібраційної машини для сушіння волоських горіхів дозволяє досягти більш рівномірного та швидкого видалення вологи з продукту.

В результаті теоретичних досліджень було встановлено, що вібраційне сушіння є ефективним методом для сушіння волоських горіхів, який дозволяє зберігати якість продукту та зменшити витрати на енергію. Для досягнення поставлених результатів необхідно дотримуватися оптимальних параметрів сушіння, таких як температура, відносна вологість та амплітуда вібраційного руху.

Також зазначено, що використання вібраційних технологій у процесі сушіння волоських горіхів є перспективним напрямом досліджень, який може забезпечити покращення економічної ефективності та якості волоських горіхів.

Ключові слова: волоський горіх, сушильне обладнання, вібрація, вібраційна машина, продуктивність, енергоефективність, витрати, вологість.

TSURKAN OLEH

Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University»

RUTKEVYCH VOLODYMYR, DIDYK ANDRII

Vinnytsia National Agrarian University

THEORETICAL RESEARCH OF THE DRYING PROCESS OF WALNUTS USING VIBRATION TECHNOLOGIES

The question of increasing the quality indicators of walnuts in the process of storage and processing is considered, due to theoretical studies of the process of drying walnuts in a vibrating machine.

Based on the analysis of scientific research on this topic, it was established that the use of vibration technologies increases the efficiency of drying walnuts and allows to reduce the drying time by 30-40 % compared to traditional methods. In addition, vibration technologies allow to preserve the quality of nuts, reducing the effect of heat on their structure.

It is noted that vibration technologies improve the drying process by stimulating the movement of moisture from the surface of walnuts. At the same time, various types of vibration are used in practice, such as linear, oscillatory, centrifugal and ultrasonic.

A structural and technological diagram of a vibrating machine for drying walnuts in the shell has been developed. During vibration drying in a vibrating machine, a walnut is placed on a vibrating surface that generates mechanical vibrations that help distribute heat and moisture throughout the walnut. The use of the proposed design of the vibrating machine for drying walnuts allows to achieve a more uniform and rapid removal of moisture from the product.

As a result of theoretical studies, it was established that vibration drying is an effective method for drying walnuts, which allows you to preserve product quality and reduce energy costs. To achieve the set results, it is necessary to observe optimal drying parameters, such as temperature, relative humidity and amplitude of vibration movement.

It is also stated that the use of vibration technologies in the process of drying walnuts is a promising direction of research that can improve the economic efficiency and quality of walnuts.

Keywords: walnut, drying equipment, vibration, vibration machine, productivity, energy efficiency, costs, humidity.

Постановка проблеми

Особливі кліматичні умови України сприяють ефективному розвитку горіхового бізнесу, але

відсутність високоефективного та ресурсоощадного обладнання для його переробки завдають значних збитків виробникам даної галузі. Завищений вміст вологи на рівні 35-45 % (міжнародний стандарт 10 %) при збиранні створюють сприятливі умови для розвитку мікробіологічних та ферментативних процесів, що призводять до швидкого псування волоського горіха та погіршення його якості [1,2].

Для зменшення вологості волоських горіхів зазвичай використовують методи сушіння такі, як природне сушіння або сушіння у спеціальних камерах, але наявне обладнання не завжди забезпечує ефективне сушіння, що може призводити до зниження якості продукту та втрати ваги, що є фінансово не вигідно.

Дослідження процесу сушіння волоських горіхів з використанням вібраційних технологій є досить актуальним напрямком досліджень в галузі обробки сільськогосподарської продукції. Вібраційне сушіння має декілька переваг порівняно з традиційними методами сушіння, такими як термічне сушіння або сушіння на повітрі, а саме, вібраційне сушіння дозволяє зменшити час та збільшити ефективність процесу. Крім того, вібраційне сушіння дозволяє зберегти більше корисних речовин та вітамінів у продуктах, порівняно із термічним сушінням.

Таким чином, створення нового, більш ефективного обладнання для сушіння волоських горіхів є важливою проблемою для виробників українського волоського горіха. Дане обладнання має забезпечувати швидке та ефективне сушіння продукту з мінімальною втратою ваги та збереженням якості волоських горіхів, що може збільшити прибутковість та конкурентоспроможність українських виробників волоського горіха на міжнародному ринку.

Аналіз останніх джерел

Основні принципи сушіння волоських горіхів полягають у зменшенні вмісту води в продукті до певного рівня. Це досягається за допомогою збільшення температури та вентиляції навколишнього повітря. При цьому необхідно дотримуватися оптимальних параметрів температури та вологості, щоб не пошкодити якість волоського горіха [3].

Дослідження, присвячені вивченню аналізу фізико-хімічних змін складу горіхоплідних у процесі зберігання, проведені багатьма вітчизняними та зарубіжними вченими, зокрема: Сперанським В.Г., Страховим С.А., Цурканом О.В., Скоканом Л.Є., Котовим Б.І., Grossom N.R., Martinez M.L., Çağlarirmak N., Amaral J.S., Savage G.P. та іншими [3-5].

Вібраційні технології використовуються для покращення процесу сушіння за рахунок стимулювання руху вологи з поверхні продукту. При цьому застосовуються різні типи вібрації, такі як лінійна, коливальна, відцентрова, ультразвукова тощо. Вібраційні технології дозволяють зменшити час сушіння та покращити якість продукту [3, 5, 6].

У наукових дослідженнях були досліджені різні методи вібраційного сушіння, такі як сушіння на вібраційному столі, у вібраційній сушці, сушіння у вібраційному барабані. У результаті досліджень було встановлено, що вібраційне сушіння є ефективним методом для сушіння волоських горіхів, який дозволяє зберігати якість продукту та зменшити витрати на енергію, але для досягнення найкращих результатів, необхідно дотриматись оптимальних параметрів сушіння, таких як температура, відносна вологість та амплітуда вібраційного руху.

Наукові дослідження про процес сушіння волоських горіхів з використанням вібраційних технологій показують, що цей процес має декілька переваг порівняно з традиційними методами сушіння.

Один з таких досліджень, проведених у 2015 році, показав, що вібраційне сушіння волоських горіхів зменшує час сушіння та покращує якість продукту порівняно з традиційними методами сушіння. В дослідженні було використано вібраційну сушарку з горизонтальним розташування горіхів. Було встановлено, що при використанні вібраційного сушіння час сушіння скоротився від 48 до 24 годин, а вміст вологи у продукті зменшився з 5,5 % до 2,5 % [5].

В науковому дослідженні, що проведено в Китаї у 2019 році було досліджено вплив вібрації на процес сушіння волоських горіхів. В результаті досліджень встановлено, що вібраційні коливання сприяють розподілу вологи по всій поверхні горіхів, що сприяє їх більш рівномірному висушуванню [3].

Інше дослідження, проведене у 2018 році, показало, що вібраційне сушіння волоських горіхів з використанням гіперзвукової вібрації є ефективним методом сушіння. У цьому дослідженні використовували вібраційні сушарки з вертикальним розташуванням горіхів. Встановлено, що застосування гіперзвукової вібрації сприяє зменшенню часу сушіння на 20-30 % та збільшення продуктивності на 10-15 % [6].

В журналі «Drying Technology», було опубліковано дослідження про процес сушіння волоських горіхів з використанням вібраційних технологій, що дозволяють зменшити час сушіння горіхів на 30-40 % в порівнянні з традиційними методами.

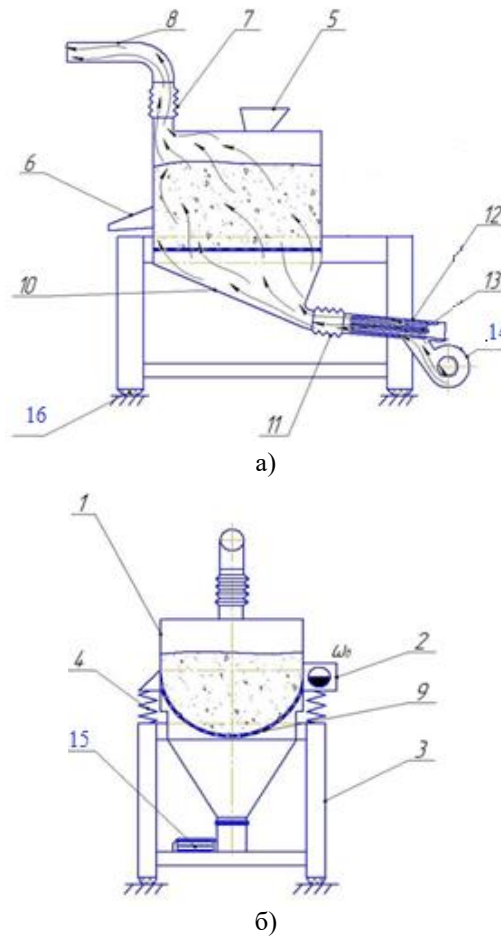
Крім того, дослідження показало, що використання вібраційних технологій дозволяє зберегти якість горіхів, зменшуючи вплив тепла на їх структуру, що зокрема проявляється у збереженні кольору, текстури та смакових якостей готових продуктів.

Таким чином, наукові дослідження показують, що використання вібраційних технологій в процесі сушіння волоських горіхів є ефективним і дозволяє зменшити час сушіння та зберегти якість горіхів.

Метою роботи є: розробка високоефективного та ресурсозберігаючого обладнання для сушіння волоських горіхів в шкарлупі.

Виклад основного матеріалу

Для підвищення ефективності та покращення якості сушіння волоських горіхів на кафедрі технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету розроблена вібраційна машина, конструктивно-технологічна схема, якої приставлена на рис.1.



а – вигляд спереду; б – вигляд збоку;

Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема вібраційної машини для сушіння волоських горіхів: 1 – U-подібна камера; 2 – вібратор; 3 – рама; 4 – пружини; 5 – завантажувальний лоток; 6 – розвантажувальний лоток; 7, 11 – еластичні з'єднання; 8 – повітропровід для виведення відпрацьованого повітря; 9 – перфороване днище; 10 – піддон; 12 – повітропровід; 13 – електричні нагрівальні елементи; 14 – вентилятор; 15 – електродвигун; 16 – гумові опори

Вібраційна машина для сушіння волоських горіхів містить: U-подібну камеру 1, що оснащена вібратором 2 та встановлена на рамі 3 на пружинах 4. Сушильна камера 1 містить завантажувальний 5 і розвантажувальний 6 лоток. Виведення відпрацьованого повітря здійснюється через повітропровід 8, що з'єднаний через еластичне з'єднання 7 з сушильною камерою. Нижня частина камери містить перфороване днище 9 і піддон 10, який через еластичне з'єднання 11 сполучений з нагрівальними елементами 13, по якому подається підігріте повітря, яке підводиться по повітропроводу 12 до вентилятора 14, який приводиться в рух електродвигуном 15. Рама встановлена на опорах 16.

Вібраційна машина працює наступним чином. Волога горіхова маса подається через завантажувальний лоток 5 поступає в U-подібну камеру 1. Одночасно вмикається вібратор 2, електричні нагрівальні елементи 13 та електродвигун 15 вентилятора 14. За допомогою вентилятора подається в повітропровід 12, де нагрівається електричними нагрівальними елементами 13 і через еластичне з'єднання 11, піддон 10 та перфороване днище 9 поступає в U-подібну камеру з вологою горіховою масою. Пройшовши через матеріал, відпрацьоване повітря через еластичне з'єднання 7 та повітропровід 8 виводиться із сушильної камери. При досягненні необхідної вологості волоського горіха вимикається електродвигун вентилятора та нагрівальні електричні елементи. Вивантаження горіхів здійснюється через розвантажувальний лоток 6 за рахунок вібрацій U-подібної камери.

Вібраційна машина для сушіння волоських горіхів відноситься до машин, які працюють за конвективним методом з використанням вібраційних технологій для змішування переробної сировини.

При вирішенні задач, які пов'язані із підвищенням енергетичного удосконалення сушильних установок, необхідно визначати кількісні показники, які називають критеріями ефективності або характеристиками цілі [7-11].

Важливим показником енергетичного (теплого) удосконалення вібраційної машини прийнято

термічний коефіцієнт корисної дії, що являє собою відношення корисно використаної теплоти (q_k) до всієї теплоти (q_3), яку витрачено на процес сушіння:

$$\eta_T = \frac{q_k}{q_3} \quad (1)$$

Витрачена теплота в розрахунку на один кілограм сухого повітря, що нагрівається в теплогенераторі або топковому блоці, визначається [9]:

$$q_3 = c_p (t_1 - t_0), \quad (2)$$

де c_p – питома теплоємність повітря, Дж/(кг · К);
 t_1 – температура сушильного агента на вході в сушарку, К;
 t_0 – температура повітря, яке подається в теплогенератор, К.

Теплота, яка витрачена на випаровування вологи, віднесена до кілограма нагрітого повітря (сухого), визначається за формулою [3]:

$$q_k = \frac{r(d_2 - d_1)}{1000}, \quad (3)$$

де d_1, d_2 – вологовміст теплового агента на вході і виході вібраційної машини, кг/м³.
 Тоді:

$$\eta_T = r \frac{d_2 - d_1}{c_p (t_1 - t_0) \cdot \rho_{CA}} \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

де ρ_{CA} – густина сушильного агента, кг/м³.

Для визначення найбільшого коефіцієнта корисної дії вібраційної машини доцільно використовувати залежність (5). Виходячи із залежності (5) коефіцієнт корисної дії досягається при максимальній різниці вологовмісту теплового агента на вході і виході з вібраційної машини (коли вологовміст теплового агента на виході із вібраційної машин досягне насичення $d_2 = d_m$), а температура теплового агента на виході – $t_2 = t_m$.

При сушінні із використанням конвективного методу [6]:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0}, \quad (5)$$

де t_2 – температура сушильного агента на виході із сушарки.

У данному виразі корисною тепловою енергією є вся теплота, яка виділяється енергоносієм в вібраційній машині.

Отже:

$$\eta_{\max} = (t_1 - t_m) / (t_1 - t_0), \quad (6)$$

де t_m – температура вологого термометра, °С.

Ступінь впливу початкової t_1 і кінцевої t_2 температури теплового агента на енергетичну ефективність процесу сушіння неоднозначна. Відповідно до співвідношення (5) ККД збільшується при підвищенні t_1 , оскільки при цьому має збільшуватись швидкість сушіння і відповідно зменшуватись t_2 . Однак, дослідження [3, 5] показують, що підвищення швидкості сушіння супроводжується підвищенням інтенсивності нагріву волоського горіха. В результаті цього співвідношення між витратами теплоти на нагрівання волоського горіху, яка втрачається в навколишнє середовище та фізичною теплою, що надходить до машини, зростає. При цьому зменшується ступінь насичення теплового агента [9].

Енергетичну ефективність сушильного процесу можна оцінити більш загальним (для всіх машин) показником – питомими витратами енергії на одиницю (1 кг) випаруваної вологи або висушених волоських горіхів, що може бути кількісно оцінено за допомогою співвідношення [6]:

$$q_0 = \frac{c_p \cdot (t_1 - t_0)}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}} = \frac{I_1 - I_0}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}}, \quad (7)$$

де I_1, I_0 – ентальпія теплового агента на вході до робочої камери і на вході до теплогенератора відповідно.

Величина $\Delta d = d_2 - d_1$ в знаменнику (7) визначає кількість випаруваної вологи, яка з урахуванням того, що процес сушіння відрізняється від ізобарного, може бути відповідно до [5] визначена із співвідношення:

$$\Delta d = \frac{c_p \cdot (t_1 - t_2) - \sum Q_{emp}}{3,01 + 5,51 \cdot (t_1 + t_2 + 546) \cdot 10^{-5} + r_1}, \quad (8)$$

де Q_1 – теплота, яку сприйняла волога (1 кг) в машині;
 $\Sigma Q_{\text{втр}} –$ теплові втрати, віднесені до 1 кг випаруваної вологи.
 Кількість випаруваної вологи в процесі сушіння можна визначити також і з балансного рівняння:

$$L \cdot \rho_{CA} \cdot \Delta d = G_0 \frac{dU}{dt}, \quad (9)$$

де dU/dt – швидкість зневоднення горіхів, кг/год;
 G_0 – продуктивність машини по абсолютно сухих волоських горіхах, кг/год;
 L – витрати теплового агента, м³/год.
 Визначаючи Δd з (9) і порівнюючи з (8), отримаємо для «теоретичної сушарки» ($\Sigma Q_{\text{втр}} = 0$):

$$t_1 - t_2 = \frac{G_0}{L\rho} \cdot \frac{dU}{d\tau} 10^{-3} \cdot \frac{1}{c_p} \cdot f(t, r). \quad (10)$$

Підставляючи значення (10) в (5), отримаємо:

$$\eta = \frac{G_0 \cdot \frac{dU}{d\tau} 10^{-3} \cdot f(t, r)}{L \cdot \rho_{CA} \cdot c_p \cdot (t_1 - t_0)}. \quad (11)$$

Враховуючи, що $L = S \times V_{CA}$, остаточно отримаємо залежність для ККД вібраційної машини:

$$\eta = \frac{G_0 \cdot I \cdot f(t, r) 10^{-3}}{S \cdot V_{CA} \cdot \rho_{CA} \cdot c_p (t_1 - t_0)}, \quad (12)$$

де $I = \frac{dU}{dt}$ – швидкість втрати вологи волоського горіху, кг/год;
 $f(t, r)$ – питомі затрати теплового агента:

$$f(t, r) = \frac{r}{G}, \quad (13)$$

де G – продуктивність сушіння волоських горіхів, кг/год.
 V_{CA} – швидкість теплового агента у вібраційній машині, м/с.
 Таким чином, енергетична ефективність вібраційної машини загалом залежить від режимних параметрів сушильного процесу: температури теплового агента, його швидкості, інтенсивності видалення вологи і експозиції сушіння.

Висновки.

Отже, підвищення виконання технологічного процесу сушіння волоських горіхів, може бути здійснено за рахунок нових методів та напрямків вдосконалення технології сушіння в розробленій вібраційній машині, за допомогою використання раціональних та регламентованих режимів сушіння.

Література

1. Сатіна Г. М. Грецький горіх в Україні: економічний огляд і перспективи / Г. М. Сатіна // Київ: видавничий центр НАУ. – 2006. – 22 с.
2. Глобальний і вітчизняний ринок волоських горіхів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/24754-hlobalnyi-i-vitchyzniani-rynok-voloskykh-horikhiv.html> (дата звернення 1.04.2023).
3. Калетнік Г. М. Особливості конструкції вібраційного обладнання для сушіння високо вологої сировини / Г. М. Калетнік, О. В. Цуркан // Вібрації в техніці та технологіях. Серія: «Технічні науки» – 2021. – №1(100). С. 5–13.
4. Руткевич В. С. Огляд методів та засобів для сушіння волоського горіха в шкаралупі / В. С. Руткевич, А. М. Дідик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки» – 2023. – №1(317). С. 230 – 236.
5. Цуркан О. В. Аналіз вібраційних технічних засобів для сушіння насіння гарбуза / О. В. Цуркан // Вібрації в техніці та технологіях. Серія: «Технічні науки» – 2021. – № 4 (103). С. 5 – 14.
6. Kaletnik G. Determination of the kinetics of the process of pumpkin seeds vibrational convective drying / G. Kaletnik, O. Tsurkan, T. Rimar, O. Stanislavchuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. Vol. 8(103), № 1. P. 1 – 17.
7. Ratushna N. Методичні підходи до створення нової сільськогосподарської техніки у відповідності з вимогами ринку наукоємної продукції / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno // MOTROL. – 2007. – № 9А. С. 119–123.

8. Ivanov M.I. Research on the block-portion separator parameters influence on the adjustment range of operating elements speed / M.I. Ivanov, V.S. Rutkevych, O.M. Kolisnyk, I.O. Lisovoy // *INMATEH - Agricultural Engineering*. – 2019. – № 1 (57). P. 37–44.
9. Цуркан О.В. Передумови розробки математичної моделі руху насіння гарбуза у вібраційній сушарці /О.В. Цуркан// *Вібрації в техніці та технологіях. Серія: «Технічні науки»* – 2021. – № 1 (104). С. 12 – 19.
10. Gunko I. Optical sensor of harmful air impurity concentration / I. Gunko, V. Hraniak, V. Yaropud, I. Kupchuk, V. Rutkevych // *Przegląd elektrotechniczny*. – 2021. – № 7 (97). P. 76 – 79.
11. Honcharuk I. Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude-frequency response of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad / I. Honcharuk, I. Kupchuk, V. Yaropud, R. Kravets, S. Burlaka, V. Hraniak, Ju. Poberezhets, V. Rutkevych // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2022. – № 9 (98). P. 14–20.

References

1. Satina H. M. Hretskyi horikh v Ukraini: ekonomichniy ohliad i perspektyvy /H.M.Satina // Kyiv: vydavnychiy tsentr NAU. – 2006. – 22 s.
2. Hlobalnyi i vitchyzniani rynok voloskykh horikhiv [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichniy-hektar/item/24754-hlobalnyi-i-vitchyzniani-rynok-voloskykh-horikhiv.html> (data zvernennia 1.04.2023).
3. Kaletnik H.M. Osoblyvosti konstruktivnoho obladnannia dlia sushinnia vysoko volohoi syrovyny / H.M. Kaletnik, O.V. Tsurkan // *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. – 2021. – №1(100). S. 5–13.
4. Rutkevych V.S. Ohliad metodiv ta zasobiv dlia sushinnia voloskoho horikha v shkaralupi /V.S. Rutkevych, A.M. Didyk// *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: «Tekhnichni nauky»* – 2023. – №1(317). С. 230 – 236.
5. Tsurkan O.V. Analiz vibratsiinykh tekhnichnykh zasobiv dlia sushinnia nasinnia harbuza /O.V. Tsurkan/ *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. Serii: «Tekhnichni nauky»* – 2021. – № 4 (103). S. 5 – 14.
6. Kaletnik G. Determination of the kinetics of the process of pumpkin seeds vibrational convective drying / G. Kaletnik, O. Tsurkan, T. Rimar, O Stanislavchuk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. Vol. 8(103), № 1. P. 1 – 17.
7. Ratushna N. Metodychni pidkhody do stvorennya novoi silskohospodarskoi tekhniki u vidpovidnosti z vymohamy rynku naukoiemnoi produktsii / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno // *MOTROL.*–2007. – № 9A. S. 119–123.
8. Ivanov M.I. Research on the block-portion separator parameters influence on the adjustment range of operating elements speed / M.I. Ivanov, V.S. Rutkevych, O.M. Kolisnyk, I.O. Lisovoy // *INMATEH - Agricultural Engineering*. – 2019. – № 1 (57). P. 37– 44.
9. Tsurkan O.V. Peredumovy rozrobky matematychnoi modeli rukhu nasinnia harbuza u vibratsiinii sushartsii /O.V. Tsurkan// *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. Serii: «Tekhnichni nauky»* – 2021. – № 1 (104). S. 12 – 19.
10. Gunko I. Optical sensor of harmful air impurity concentration / I. Gunko, V. Hraniak, V. Yaropud, I. Kupchuk, V. Rutkevych // *Przegląd elektrotechniczny*. – 2021. – № 7 (97). P. 76 – 79.
11. Honcharuk I. Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude-frequency response of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad / I. Honcharuk, I. Kupchuk, V. Yaropud, R. Kravets, S. Burlaka, V. Hraniak, Ju. Poberezhets, V. Rutkevych // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2022. – № 9 (98). P. 14–20.