

**Полевода Ю. А**

к.т.н., доцент

**Вінницький національний
аграрний університет****Polievoda Y.****Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 631.361****DOI: 10.37128/2306-8744-2020-3-12****ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ
СКОЛЮВАННЯ ШКАРЛУПИ
ГОРІХА В РЕЗУЛЬТАТІ СИЛОВОЇ
ДІЇ НАПІВСФЕРИЧНИХ
ПОВЕРХОНЬ**

Знання технічних властивостей волоських горіхів необхідні для полегшення і покращення конструкції технологічного обладнання, а також для механізації операцій збору, пакування і зберігання. У процесі отримання плодів волоського горіха, а саме ядра піддаються ряду одиничних операцій. На кожному етапі на основі механічних властивостей волоських горіхів працюють різні типи обладнання, в тому числі і вібраційне для очищення, сортування, сепарації і луцення. Таким чином, детальні результати, представлені в цьому дослідженні, надають корисні дані, які можуть бути використані інженерами при проектуванні відповідних машин для обробки волоського горіха, тим самим покращуючи процес і контроль показників якості.

В статті проведений детальний огляд процесу розколювання ядра волоського горіха. Наведені приклади багатьох способів розколювання шкаралупи, вказані їх всі недоліки та переваги. Теоретично досліджений та обґрунтований саме механічний спосіб луцення.

Для зменшення механічних пошкоджень і підвищення якості вилучення ядра горіха при луценні, об'єктом дослідження було обрано 1 сорт волоського горіха.

Результати випробувань на стиск показали, що взаємозв'язок між силою розриву і деформацією волоського горіха був нелінійним, а процес луцення (сколювання) шкаралупи в основному складався з трьох стадій. Крайнім методом розколу волоського горіха було «сферичне стиснення» (між двома сферичними вставками), також було визначено максимальне значення руйнівного зусилля

Результати досліджень показали, що «сферичне стиснення» було відповідним способом руйнування волоського горіха, що призвело до очевидних тенденцій поширення тріщин шкаралупи і, крім того, до кращої цілісності вилученого ядра.

В статті розглянуто цілий ряд малогабаритного та великогабаритного обладнання, призначеного для розколу горіхів, як в домашніх, так і в промислових умовах, різної конструкції і продуктивності.

Ключові слова: горіх, механічні властивості, кильце зі скосом, розкол горіхів, калібрування, сила дроблення, максимальна енергія, вологість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Волоський горіх є чудовим джерелом високопоживних компонентів, таких як жирні кислоти, білки, вітаміни та різноманітні мінерали, які зменшують ризик ішемічної хвороби серця. Горіхи нещодавно викликали



великий інтерес, як багатообіцяючий натуральний функціональний продукт харчування.

Волоські горіхи зазвичай продаються, як очищені або неочищені (цілі або подрібнені ядра), але їх також можна переробляти для отримання таких інгредієнтів, як масло волоського горіха, борошно і паста. Основними складовими ядер є ліпіди (62-74%) з відносно високим вмістом лінолевої кислоти (близько 63%) і ліноленової кислоти (близько 13%), які особливо схильні до окислювального процесу, що призводить до розвитку прогірклості і скорочення терміну зберігання [1].

Китай посідає перше місце у світі з 1 602 373 т виробництва волоського горіха. Процес луцення волоського горіха є найбільш важливим і делікатним етапом для отримання високоякісних ядер, проте досі розкол волоського горіха проводиться вручну в Південному Китаї, що призводить до збільшення вартості та часу обробки для видобування ядер волоських горіхів. Тому високоефективні методи та пристрої, що застосовуються для луцення шкаралупи волоського горіха, досліджуються та розробляються на основі фізико-механічних властивостей волоського горіха, що є важливою передумовою для проектування та вдосконалення даного обладнання [2].

За останні роки багато вчених провели багато досліджень, щоб дослідити мікро- та макромеханічні властивості горіхів. Взагалі кажучи, для вивчення макромеханічних властивостей використовують тести на стиск або зсув. В роботі [2] досліджували механічну поведінку волоського горіха за допомогою випробувань на стиск, щоб визначити вплив вмісту вологи, швидкості завантаження, положення завантаження на силу розриву, питому деформацію та енергію, що поглинається. А кількісні взаємозв'язки між умовами луцення та механічними властивостями волоського горіха визначались за допомогою випробувань на стиск або удар. Технічна інформація та дані в науковій літературі, що пов'язані із поведінкою волоських горіхів при різних контактних формах вивчені ще недостатньо.

У роботах [3, 4, 5] було обґрунтовано вибір вібраційного горіхокола та проаналізований процес сколювання волоського горіха між двома паралельними пластинами та між пластиною та сферичною вставкою.

Мета досліджень. Метою цього дослідження є вивчення наслідків різної форми контакту горіха і робочого органу, що його розколює на механічну поведінку та якість вилучення ядра плода. Отже, надзвичайно

важливо дослідити механічні властивості волоського горіха при різних контактних формах із різними формами деталей, що розколюють шкаралупу.

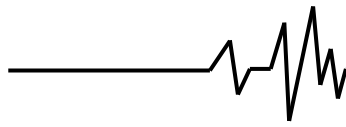
Виклад основного матеріалу дослідження.

Машини для луцення шкаралупи горіха. На сьогоднішній день існує цілий ряд конструкцій машин для луцення (розколу) волоського горіха [6]. Ці машини мають ряд особливостей, які необхідно враховувати при вирішенні питання їх застосування в промислових масштабах. В першу чергу, важливий принцип розколу горіха, який використовується в машині. Машини, які використовують валкові або барабанні вузли розколу, неминуче вимагають попереднього калібрування горіха за розміром. Причому, чим ретельніше зроблене таке калібрування (на більшу кількість фракцій за розміром), тим якісніше відбуватиметься розкол горіхів із більшим виходом цілого ядра. Однак якщо не ставиться завдання отримання цілого ядра, наприклад, при переробці горіха на масло, то принцип розколу не має значення.

Багато машин використовують в якості вузла розколу конструкцію, що складається з зовнішнього нерухомого та внутрішнього обертового конусів, відстань між якими регулюється в залежності від розміру горіха. Це дозволяє домогтися високої продуктивності машини, але також вимагає попереднього калібрування горіха за розміром. Цей принцип є ефективним в тих випадках, коли на переробку надходять горіхи круглої форми з культурних горіхових садів. На рис. 1 відображено машини для луцення (розколу) горіхів (а) та міні лінія для розколу горіхів і вилучення ядра (б) продуктивністю 90-130 кг/год фірми «Jessee Equipment Manufacturing».

Необхідно зауважити, що перевагою машин з конусними вузлами розколу є можливість щодо простого перенастроювання для розколу інших горіхоплідних (пекана, фундука та ін.), але вихід цілого ядра у цих машин досить низький.

В Україні Державним Вінницьким проектно-конструкторським технологічним інститутом (ВПКТІ) на такому принципі розколу розроблена лінія для очищення волоських горіхів Ш24-ШОЖ1.1.00 (рис. 2).



а)



б)

Рис. 1 – Обладнання для розколу волоських горіхів фірми «Jessee Equipment Manufacturing»



Рис. 2 – Лінія для очищення волоських горіхів Ш24-ШОЖ1.1.00 виробництва ВПКТІ

Лінія містить ковшовий елеватор, вібросито для поділу горіха на дві фракції за розміром, два вузла розколу конусного типу і інспекційний конвеєр з аспіраційною установкою. Продуктивність лінії становить 125 кг/год [6].

Машина з вузлами розколу барабанного (валкового) типу виробляє українська фірма ТОВ «Сервіс-Пак» (рис. 3). Ці машини також мають досить високу продуктивність, але вимагають попереднього калібрування горіхів за розміром.



Рис. 3 – Машина для луцення волоських горіхів ОД-1 виробництва фірми «Сервіс-Пак» продуктивністю 50-60 кг/год

З метою поліпшення якості розколу і усунення додаткової технологічної операції (калібрування горіха за розміром) ряд фірм використовує в своїх машинах для луцення волоських горіхів іншу конструкцію вузла розколу. Конструкція цього вузла складається з двох колючих плит з круглим або конусним зазором. Горіх будь-якого розміру, потрапляючи в цей зазор, знаходить місце, відповідне його розміру. Потім відбувається ударне змикання колючих плит, внаслідок чого здійснюється процес луцення шкарлупи горіха. Величина стиснення колючих плит (деформація горіха) регулюється для отримання оптимального розколу горіхів з різною товщиною зовнішньої оболонки або вологістю. Цей принцип використовується в машині для луцення волоських горіхів «ОДМ 994/250» виробництва ДП «СКТБ ІПП НАНУ». Машина має продуктивність 270 од/хв або близько 200 кг/год.

Аналогічну за конструкцією машину «Nuts Cracker JUNIOR» (рис. 4) виготовляє французька фірма «AMB ROUSSET».



Рис. 4 – Машина для луцення волоських горіхів «Nuts Cracker JUNIOR»



Продуктивність цієї машини 50-70 кг/год. Фірма «AMB ROUSSET» виготовляє також машини з різною продуктивністю.

Машини для розколу волоських горіхів інших конструкцій виробляє французька фірма «Sommier» і українське підприємство ПП «Сутула».

Цілий ряд малогабаритних пристроїв, призначених для розколу горіхів в домашніх умовах, різної конструкції і продуктивності представлені на сайті фірми «Homestead Harvest».

Технологічна характеристика процесу. Для визначення споживання енергії та якості отриманої серцевини, ми також дослідили і метод дроблення горіха між двома кільцями (рис. 5).

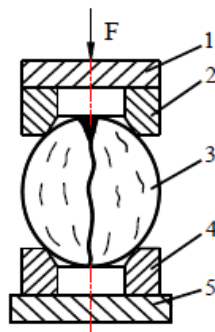


Рис. 5 – Схема процесу дроблення горіхів між двома кільцями: 1, 5 – пластины; 2, 4 – кільця; 3 – горіх

В результаті виконання дослідів, були отримані графічні кореляції між величиною деформації шкаралупи горіха і динамікою зміни сили дії при вологості горіха $W = 5\%$ і товщини шкаралупи $\delta = 2,5$ мм (рис. 6).

Таким чином, були отримані наступні максимальні сили дроблення: у випадку використання кільця $\alpha = 30^\circ$, максимальна сила дроблення складає 600 Н; коли $\alpha = 45^\circ$, $F_{\max} = 510$ Н; $\alpha = 60^\circ$, $F_{\max} = 430$ Н; $\alpha = 15^\circ$, $F_{\max} = 330$ Н. Варіація максимальної сили дроблення залежно від товщини шкаралупи горіха для різних скосях кільць представлена на рис. 7.

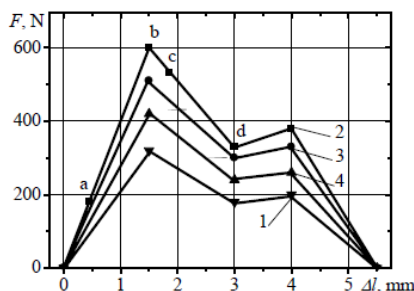


Рис. 6 – Варіація сили (F) залежно від деформації (Δl) шкаралупи горіха: скіс кільця: 1 – 15° ; 2 – 30° ; 3 – 45° ; 4 – 60°

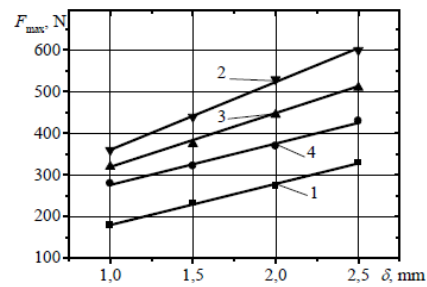


Рис. 7 – Варіація максимальної сили дроблення залежно від товщини шкаралупи горіха для різних скосях кільць α : 1 – 15° , $F_{\max} = 100,0 \cdot \delta + 85,0$; 2 – 30° , $F_{\max} = 166,6 \cdot \delta + 193,4$; 3 – 45° , $F_{\max} = 133,3 \cdot \delta + 181,7$; 4 – 60° , $F_{\max} = 100,0 \cdot \delta + 180,0$

Як показано на рис. 7 із збільшенням товщини шкаралупи, збільшується і необхідна сила для дроблення. Наприклад, у випадку використання кільця з конусністю $\alpha = 15^\circ$, максимальна сила дроблення для товщини шкаралупи горіха у 1,0 мм становить 180 Н, а для товщини у 2,5 мм – 320 Н.

Графік залежностей максимальної сили дроблення скося кільць залежно від різної товщини шкаралупи показано на рис. 8.

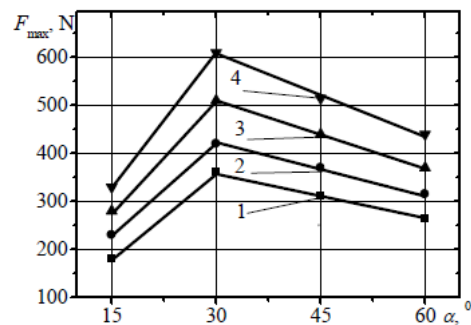


Рис. 8 – Залежність максимальної сили дроблення залежно від скосях кільць для різної товщини шкаралупи горіхів: δ : 1 – 1,0 мм; 2 – 1,5 мм; 3 – 2,0 мм; 4 – 2,5 мм

Таким чином, при скосі кільця у 30° і товщині шкаралупи 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 мм, максимальна сила дроблення відповідно становить 360, 420, 510 і 610 Н.

На рис. 9 представлено графік залежностей максимальної сили дроблення при вологості і при розміщенні горіха між двома кільцями із скосям 15° .

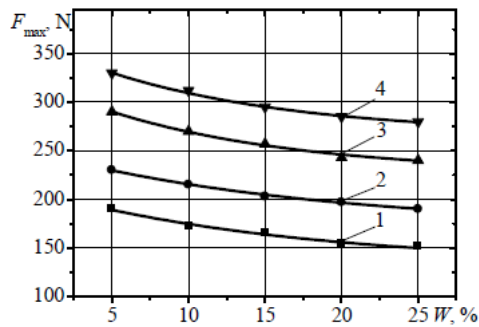
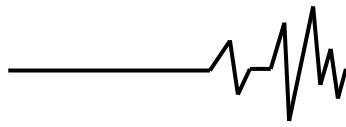


Рис. 9 – Варіація максимальної сили дроблення залежно від вологості горіхів для різної товщини шкаралупи горіха δ : 1 – 1,0 мм, $F_{\max} = 132,37 + 76,21 \cdot e^{-W/17,00}$; 2 – 1,5 мм, $F_{\max} = 170,60 + 77,90 \cdot e^{-W/18,19}$; 3 – 2,0 мм, $F_{\max} = 226,82 + 94,15 \cdot e^{-W/12,61}$; 4 – 2,5 мм, $F_{\max} = 226,44 + 94,96 \cdot e^{-W/12,57}$

Наприклад, для товщини шкаралупи $\delta=1,0$ мм при вологості 5%, максимальна сила дроблення становить 190 Н, а при 25% вологості – 150Н.

На рис. 10 представлено графічно кореляції між максимальної сили дроблення і вологості при розміщенні горіха між двома кільцями із скосом 30° .

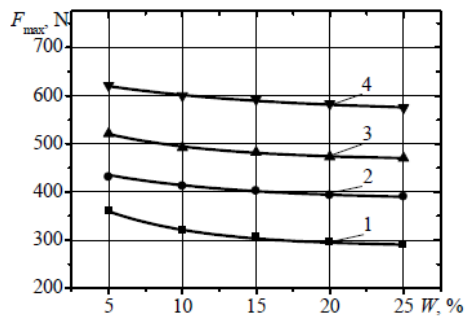


Рис. 10 – Варіація максимальної сили дроблення залежно від вологості горіхів для різної товщини шкаралупи горіха δ : 1 – 1,0 мм, $F_{\max} = 0,28+0,41 \cdot e^{-W/7,75}$; 2 – 1,5 мм, $F_{\max} = 0,41+0,60 \cdot e^{-W/8,31}$; 3 – 2,0 мм, $F_{\max} = 0,54+0,63 \cdot e^{-W/14,89}$; 4 – 2,5 мм, $F_{\max} = 0,76+0,80 \cdot e^{-W/21,03}$

Для товщини шкаралупи у 2,5 мм при вологості 5%, максимальна сила дроблення становить 610 Н, а при 25% вологості – 590 Н.

На рис. 11 представлено графік залежностей максимальної сили дроблення з вологістю при розміщенні горіха між двома кільцями із скосом 45° .

Наприклад, для товщини шкаралупи $\delta = 2,0$ мм при 5% вологості, максимальна сила дроблення становить 440 Н, а при 25% вологості – 380 Н.

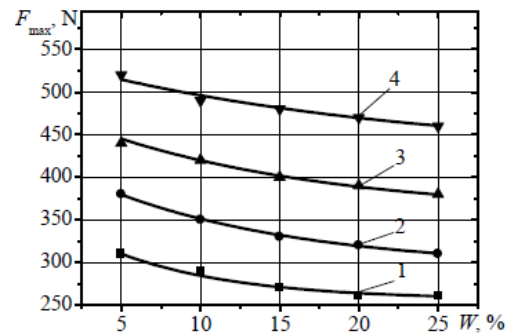


Рис. 11– Варіація максимальної сили дроблення залежно від вологості горіхів для різної товщини шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм, $F_{\max} = 0,28+0,41 \cdot e^{-W/7,75}$; 2 – 1,5 мм, $F_{\max} = 0,41+0,60 \cdot e^{-W/8,31}$; 3 – 2,0 мм, $F_{\max} = 0,54+0,63 \cdot e^{-W/14,89}$; 4 – 2,5 мм, $F_{\max} = 0,76+0,80 \cdot e^{-W/21,03}$

На рис. 12 представлено графічно кореляції між максимальної сили дроблення і вологості при розміщенні горіха між двома кільцями із скосом 60° .

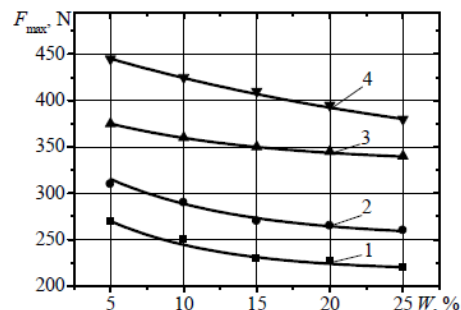


Рис. 12 – Варіація максимальної сили дроблення залежно від вологості горіхів для різної товщини шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм, $F_{\max} = 0,28+0,41 \cdot e^{-W/7,75}$; 2 – 1,5 мм, $F_{\max} = 0,41+0,60 \cdot e^{-W/8,31}$; 3 – 2,0 мм, $F_{\max} = 0,54+0,63 \cdot e^{-W/14,89}$; 4 – 2,5 мм, $F_{\max} = 0,76 + 0,80 \cdot e^{-W/21,03}$

Для товщини шкаралупи у 1,5 мм при 5% вологості, максимальна сила дроблення становить 310 Н, а при 25% вологості – 260 Н, а для товщини шкаралупи у 2,5 мм максимальна сила дроблення варіює від 445 Н при вологості 5% до 335 Н при вологості 25%.

Встановлення енерговитрат в процесі сколювання шкаралупи. На підставі експериментально представленої сили було визначено споживання енергії в процесі дроблення при розміщенні горіхів між двома кільцями з різними скосами.

На рис. 13 представлено варіацію максимальної енергії дроблення залежно від товщини шкаралупи горіха при вологості 5%



для розміщення горіха між двома кільцями з різними скосами.

Аналіз графіків показує, що споживання енергії в процесі дроблення зростає зі збільшенням товщини шкаралупи волоського горіха. У той же час енергія, яка споживається в процесі дроблення залежить і від нахилу кута кільця. Отже, у разі розташування горіха між кільцем зі скосом 30°, максимальна енергія при товщині шкаралупи у 1,0 мм складає 1,8 Дж, а при товщині у 2,5 мм – 3,2 Дж. При використанні кільця зі скосом у 15°, енергія дроблення зростає від 0,9 Дж при товщині шкаралупи 1,0 мм до 1,3 Дж при товщині у 1,0 мм до 1,6 Дж при товщині у 2,5 мм.

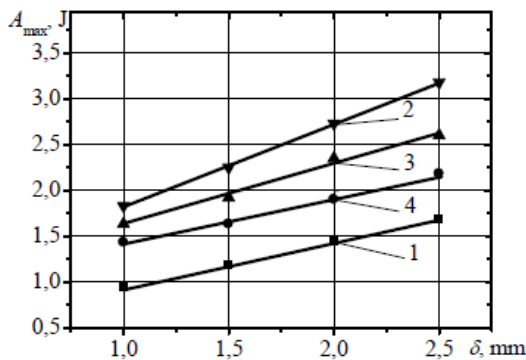


Рис. 13 – Варіація максимальної енергії дроблення (A_{max} , J) в залежності від товщини шкаралупи горіха при розміщенні горіха між кільцями з різними скосами α : 1 – 15°, $A_{max} = 0,53 \cdot \delta + 0,37$; 2 – 30°, $A_{max} = 0,93 \cdot \delta + 0,87$; 3 – 45°, $A_{max} = 0,66 \cdot \delta + 0,94$; 4 – 60°, $A_{max} = 0,53 \cdot \delta + 0,87$

Також було визначено споживання енергії в процесі подрібнення горіхів залежно від вологості у випадку розташування горіхів між кільцями з різними скосами.

Таким чином, на рис. 14 представлено графік залежностей максимальної енергії від вологості при розташуванні горіха в кільце зі скосом 15°.

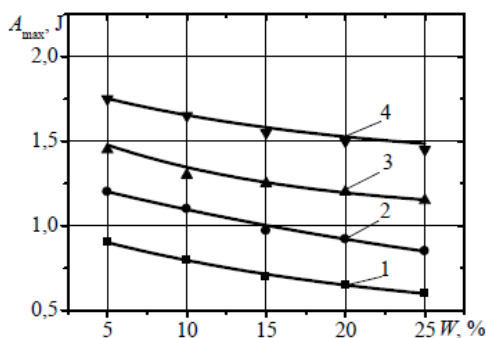


Рис. 14 – Варіація максимальної енергії дроблення залежно від вологості горіхів для різної товщини шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм, $A_{max} = 0,42+0,61 \cdot e^{-W/20,26}$; 2 – 1,5 мм, $A_{max} = 0,32+0,99 \cdot e^{-W/39,04}$; 3 – 2,0 мм, $A_{max} = 1,06+0,60 \cdot e^{-W/13,02}$; 4 – 2,5 мм, $A_{max} = 1,36+0,51 \cdot e^{-W/17,12}$

В результаті, для товщини шкаралупи у 2,5 мм, енергія дроблення зменшується від 1,7 Дж при вологості 5% до 1,5 Дж при вологості 25%.

На рис. 15 представлено графічну кореляцію між максимальною силою дроблення та вологості при розміщенні горіха між двома кільцями із скосом 30°.

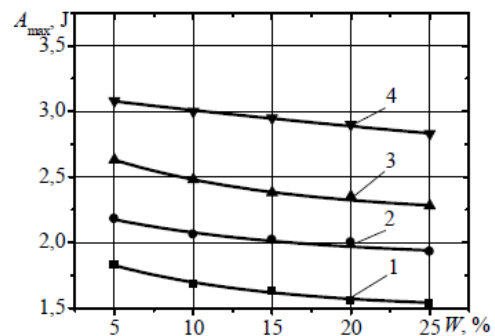


Рис. 15 – Варіація максимальної енергії дроблення залежно від вологості горіхів для різної товщини шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм, $A_{max} = 1,49+0,54 \cdot e^{-W/10,17}$; 2 – 1,5 мм, $A_{max} = 1,88+0,43 \cdot e^{-W/11,86}$; 3 – 2,0 мм, $A_{max} = 2,21+0,64 \cdot e^{-W/11,20}$; 4 – 2,5 мм, $A_{max} = 2,13+1,01 \cdot e^{-W/66,38}$

Наприклад, для товщини шкаралупи у 1,0 мм, енергія дроблення зменшується від 1,8 Дж при вологості 5% до 1,6 Дж при вологості 25%.

На рис. 16 представлено графік залежностей максимальної енергії дроблення при вологості горіхів і при їх розміщенні між двома кільцями із скосом 45°.

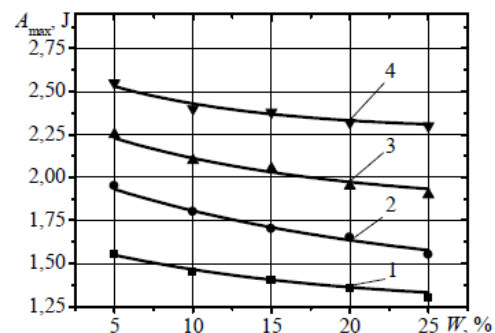


Рис. 16 – Варіація максимальної енергії дроблення залежно від вологості



горіхів для різної товщини шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм, $A_{\max} = 1,25+0,41 \cdot e^{-W/15,05}$; 2 – 1,5 мм, $A_{\max} = 1,37+0,71 \cdot e^{-W/19,53}$; 3 – 2,0 мм, $A_{\max} = 1,83+0,55 \cdot e^{-W/14,15}$; 4 – 2,5 мм, $A_{\max} = 2,27+0,42 \cdot e^{-W/10,11}$

Таким чином, можна сказати, що для товщини шкаралупи у 2,0 мм, енергія дроблення зменшується від 2,1 Дж при вологості 5% до 1,9 Дж при вологості 25%, а при товщині шкаралупи у 1,0 мм енергія дроблення варіює від 1,55 Дж при вологості 5% до 1,3 Дж при вологості 25%.

На рис. 17 представлено графічно кореляції між максимальною силою дроблення і вологості при розміщенні горіха між двома кільцями із скосом 60° .

Як показано для товщини шкаралупи горіха у 2,0 мм можна вважати, що енергія дроблення зменшується від 1,8 Дж при вологості 5% до 1,6 Дж при вологості 25%.

Як вже було сказано, на базі процесу дроблення горіхів була поставлена мета визначити максимальну енергію дроблення, в результаті якої показники якості ядра максимально високого рівня.

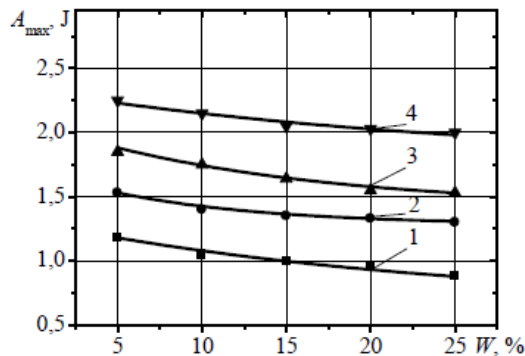


Рис. 17 – Варіація максимальної енергії дроблення залежно від вологості горіхів для різної товщини шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм, $A_{\max} = 0,64+0,65 \cdot e^{-W/23,88}$; 2 – 1,5 мм, $A_{\max} = 1,28+0,43 \cdot e^{-W/9,18}$; 3 – 2,0 мм, $A_{\max} = 1,41+0,66 \cdot e^{-W/14,41}$; 4 – 2,5 мм, $A_{\max} = 1,75+0,56 \cdot e^{-W/26,68}$

Розташування горіха в процесі дроблення між двома паралельними пластинами призводить до неякісної якості ядра горіха. Дослідження процесу дроблення горіху між пластиною і кільцем показали підвищення якості ядра. Аналогічну якість ядра можна побачити і у випадку дроблення горіхів між двома кільцями. Але з огляду на той факт, в цьому випадку збільшується споживання енергії, розумно використовувати процес

дроблення горіхів саме між пластиною і кільцем.

На рис. 18 представлений графік залежності цілісності ядра від скосу кільця при вологості 15%. Аналізуючи отриманий графік було виявлено, що цілісність ядра після процесу дроблення, відповідно становило: 94% при розташуванні горіха в кільці зі скосом 30° , 89% для $\alpha = 45^\circ$, 83% для $\alpha = 60^\circ$ і 81% при розташуванні горіха в кільці зі скосом 15° .

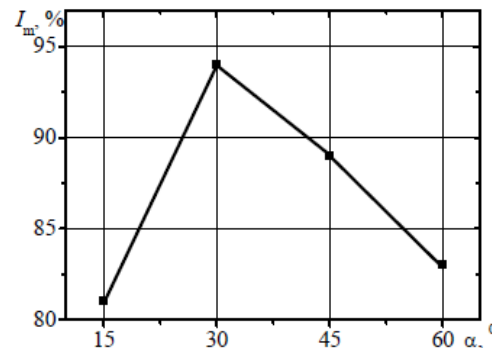


Рис. 18 – Залежність цілісності ядра від скосу кільця при вологості 15%

Таким чином, використовуючи кільця зі скосом 30° дає можливість отримати ядро з максимальною цілісністю.

Висновки. В процесі дослідів, було виявлено, що якість ядра залежить, як від співвідношення між діаметром горіха і діаметром кільця так і від скосу кільця. Таким чином, для отримання максимальної якості (цілісності) ядра рекомендується проводити процес дроблення (луцення) прийнявши до уваги наступне: відношення діаметра горіха до діаметра кільця в межах 1,15-1,3, скіс кільця – 30° , а вологість в межах 13-16%.

З підвищенням вологості горіха збільшується і пластичність горіхової шкаралупи, що ускладнює процес вилучення ядра з шкаралупи. Зі зниженням вологості збільшується крихкість горіха, що призводить до ефекту дроблення ядра в кілька частин.

Список використаних джерел

1. Roberta Dordoni, Silvia Cantaboni, Giorgia Spigno. Walnut paste: oxidative stability and effect of grape skin extract addition. *Heliyon*. 2019. Vol. 5, Iss. 9. pp. 1–8.
2. Hong Zhang, Liuyang Shen, Haipeng Lan et al. Mechanical properties and finite element analysis of walnut under different cracking parts. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2018. Vol. 11, No. 6. pp. 81–88.
3. Полевода Ю.А., Твердохліб І.В. Визначення фізико-механічних параметрів шкаралупи волоського горіха. *Всеукраїнський*



науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». 2019. № 2, (93). С. 12–17.

4. Полевода Ю.А. Дослідження процесу лущення волоських горіхів між двома паралельними пластинами. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях»*. 2019. № 3, (94). С. 110–117.

5. Полевода Ю. А. Особливості реалізації процесу лущення шкаралупи горіха між пластиною та сферичною вставкою. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях»*. 2019. № 4, (95). С. 69–75.

6. Розробка комплексу технологічних машин для глибокої переробки волоського горіха / Звіт про науково-дослідну роботу № держреєстрації 0118U001421 // В.П. Янович, І.В. Гончарук [та ін.]; Вінницький національний аграрний університет. – Вінниця, 2018. 82 с.

References

1. Roberta Dordoni, Silvia Cantaboni, Giorgia Spigno (2019). Walnut paste: oxidative stability and effect of grape skin extract addition. London [in English].

2. Hong Zhang, Liuyang Shen, Haipeng Lan. (Ed.). (2018). Mechanical properties and finite element analysis of walnut under different cracking parts. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. [in English].

3. Polievoda, Y.A. (2019). Vyznachennia fizyko-mekhanichnykh parametriv shkaralupy voloskoho horikha. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. Vseukr. nauk. tekhn. zhurnal*. Vinnytsia [in Ukrainian].

4. Polievoda, Y.A. (2019). Doslidzhennia protsesu lushchennia voloskykh horikhiv mizh dvoma paralelnymy plastynamy. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. Vseukr. nauk. tekhn. zhurnal*. Vinnytsia [in Ukrainian].

5. Polievoda, Y.A. (2019). Osoblivosti realizatsiyi procesu lushennya shkaralupi goriha mizh plastinoyu ta sferichnoyu vstavkoyu. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. Vseukr. nauk. tekhn. zhurnal*. Vinnytsia [in Ukrainian].

6. Yanovych, V.P., Honcharuk, I.V. (Ed.). (2018). Rozrobka kompleksu tekhnolohichnykh mashyn dlia hlybokoi pererobky voloskoho horikha. *Zvit pro naukovo-doslidnu robotu № derzhreiestratsii 0118U001421, Vinnytskyi natsionalnyi ahraryi universytet*. Vinnytsia [in Ukrainian].

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF CHIPPING OF THE WALNUT SHELL AS A RESULT OF THE FORCE ACTION OF HEMISPHERICAL SURFACES

Knowledge of the technical properties of walnuts is essential to facilitate and improve the design of processing equipment and procedures and equipment for collection, packaging and storage. In the process of obtaining the fruit of a walnut and its derivatives, the kernels are subjected to a number of single operations. At each stage, based on the mechanical properties of walnuts, various types of equipment operate, including vibration equipment for cleaning, sorting, separating and peeling. Thus, the detailed results presented in this study provide useful data that can be used by engineers to design appropriate walnut processing machines, thereby improving process and quality control.

To reduce mechanical damage and improve the Knowledge of the technical properties of walnuts is necessary to facilitate and improve the design of process equipment, as well as to mechanize the operations of collection, packaging and storage. In the process of obtaining walnuts, namely the kernels are subjected to a number of single operations. At each stage, based on the mechanical properties of walnuts, different types of equipment work, including vibrating for cleaning, sorting, separation and peeling. Thus, the detailed results presented in this study provide useful data that can be used by engineers in the design of appropriate machines for processing walnuts, thereby improving the process and quality control. The article provides a detailed review of the process of splitting the walnut kernel. Examples of many ways to split the shell, all their disadvantages and advantages are given. The mechanical method of peeling is theoretically investigated and substantiated.

To reduce mechanical damage and improve the quality of extraction of walnut kernels during peeling, the object of study was selected 1 variety of walnut.

The results of compression tests showed that the relationship between the breaking force and the deformation of the walnut was nonlinear, and the process of peeling (chipping) of the shell mainly consisted of three stages. The best method of splitting a walnut was «spherical compression» (between two spherical inserts), and the maximum value of the destructive force was also determined. The results showed that «spherical compression» was an appropriate way to destroy the walnut, which led to obvious trends in the spread of cracks in the shell and, moreover, to better integrity of the removed core.

The article considers a number of small and large equipment designed for splitting nuts, both at



home and in industrial conditions, of different design and performance.

Keywords: nut, mechanical properties, beveled ring, nut cracking, sizing, crushing force, maximum energy, moisture.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СКАЛЫВАНИЯ СКОРЛУПЫ ОРЕХА В РЕЗУЛЬТАТЕ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛУСФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Знание технических свойств грецких орехов необходимы для облегчения и улучшения конструкции технологического оборудования, а также для механизации операций сбора, упаковки и хранения. В процессе получения плодов грецкого ореха, а именно ядра подвергаются ряду единичных операций. На каждом этапе на основе механических свойств грецких орехов работают различные типы оборудования, в том числе и вибрационное для очистки, сортировки, сепарации и шелушения. Таким образом, подробные результаты, представленные в этом исследовании, предоставляют полезные данные, которые могут быть использованы инженерами при проектировании соответствующих машин для обработки грецкого ореха, тем самым улучшая процесс и контроль показателей качества.

В статье проведен детальный обзор процесса раскалывания ядра грецкого ореха. Приведенные примеры многих способов раскалывания скорлупы, указаны их все недостатки и преимущества. Теоретически

исследован и обоснован именно механический способ шелушения.

Для уменьшения механических повреждений и повышения качества извлечения ядра ореха при шелушении, объектом исследования было выбрано 1 сорт грецкого ореха.

Результаты испытаний на сжатие показали, что взаимосвязь между силой разрыва и деформацией грецкого ореха был нелинейным, а процесс шелушения (скалывание) скорлупы в основном состоял из трех стадий. Лучшим методом раскола грецкого ореха было «сферическое сжатие» (между двумя сферическими вставками), также были определены максимальное значение разрушающего усилия

Результаты исследований показали, что «сферическое сжатие» было соответствующим образом разрушения грецкого ореха, что привело к очевидным тенденциям распространения трещин скорлупы и, кроме того, в лучшей целостности удаленного ядра.

В статье рассмотрены целый ряд малогабаритного и крупногабаритного оборудования, предназначенного для раскола орехов, как в домашних, так и в промышленных условиях, различной конструкции и производительности.

Ключевые слова: орех, механические свойства, кольцо со скосом, раскол орехов, калибровка, сила дробления, максимальная энергия, влажность.

Відомості про авторів

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

Полевода Юрій Алікович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств Винницкого национального аграрного университета г. Винница, ул. Солнечная 3, ВНАУ, 21008, email: vinyura36@gmail.com.

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