

**Полевода Ю. А.**

к. т. н., доцент

**Вінницький національний
аграрний університет****Polievoda Y.****Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 631.361****DOI: 10.37128/2306-8744-2019-3-14**

Дослідження процесу лущення волоських горіхів між двома паралельними пластинами

В статті проведений детальний огляд процесу розколювання ядра волоського горіха. Наведені приклади багатьох способів розколювання шкаралупи, вказані їх всі недоліки та переваги. Теоретично досліджено та обґрунтовано саме механічний спосіб лущення горіхів із використанням низькочастотних коливань.

Широко проаналізовано кінематику процесу дроблення горіхів між двома паралельними пластинами. Були отримані графічні кореляції між розміром деформації шкаралупи горіха і динамікою зміни рушійної сили вологості горіха. Виявлено, що процес руйнування шкаралупи волоського горіха, складається з чотирьох етапів, відповідних законам крихкого руйнування.

Представлено: - залежності максимальної сили дроблення шкаралупи горіха при 5% вологості; - залежності максимальної сили дроблення горіхів при різній товщині шкаралупи для випадку горизонтального розташування горіха між двома пластинами з перпендикулярною силою на поверхні з'єднання половинок горіха; - залежності максимальної сили дроблення відповідно до вологості горіхів при різних товщинах шкаралупи для випадку вертикального розташування горіха між двома паралельними пластинами з вертикальною рушійною силою; - залежності максимальної сили дроблення з вологістю горіхів при різних товщинах шкаралупи для випадку горизонтального розташування горіха між двома паралельними пластинами з дією сили вздовж щілини.

Також визначено витрачену енергію розколювання (дроблення) горіхів при їхньому розташуванні в різних положеннях між двома паралельними пластинами. Де було доведено, що споживана енергія в процесі дроблення зростає зі збільшенням товщини шкаралупи волоського горіха. У той же час доведено, що споживання енергії залежить і від розташування горіха в процесі дроблення. Проведені аналізи графіків, де впливає що максимальна енергія дроблення реєструється у випадку горизонтального розташування горіха з перпендикулярною дією на щілину.

В даному дослідженні отримано велику кількість інформації, що стосується розколювання волоського горіха в залежності від структурно-механічних характеристик продукції, які в процесі переробки мають вагомий значення для визначення тих чи інших раціональних технологічних параметрів.

Ключові слова: процес розколювання, енергія розколювання, рушійна сила, динаміка зміни, вологість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні волоський горіх є однією з нішових сільськогосподарських культур. Лише 7% суходолу на планеті придатні для вирощування

горіхоплідних культур, а Україна належить до тих небагатьох країн де для культивування цієї культури придатна вся територія [1].



Промисловою технологією розколювання горіхів займаються багато вчених та науковців [2, 3, 4]. У роботах описувалися різні методи для розколювання горіха, однак жодна з них не вирішує проблему розколювання шкаралупи волоського горіха з найменшою кількістю відходів ядра при високій продуктивності усього процесу.

Умови руйнування шкаралупи і збереження цілості ядра залежать від властивостей горіха [5]. Вихід ядра від тонкостінних горіхів становить близько 50% від маси плоду, товстостінних – 30 - 35%. За якістю волоські горіхи поділяють на три сорти, що залежить від розміру самих горіхів.

У механічних пристроях типу важеля для ручного розколювання присутня низька продуктивність. В установках із застосуванням шнека із змінним кроком гвинтової лінії, горіхи пересуваються у міру їх переміщення до вихідного отвору корпусу.

Для підвищення крихкості шкаралупи і поліпшення умов розколювання горіха розроблено, науково обґрунтовано та запатентовано новий метод очищення із зануренням у рідкий азот із наступним розколюванням [2].

Існують прилади у вигляді паралельно вставлених з можливістю обертання назустріч один одному барабанів, які мають розколюючі зубці. Інші пристрої засновані на створенні перепаду тиску або температур між внутрішньою

порожниною горіхів і атмосферою. Недоліком їх є деструкція компонентів горіхів.

Деякі установки використовують принцип попереднього просочення горіхів у камері зрідженням газом. Відомі методи допоміжного руйнування шкаралупи горіхів шляхом використання кінетичної енергії. Недоліком є руйнування ядер на мілкі частинки, що позначається на товарному вигляді ядер.

Формулювання мети досліджень.

Раніше досліджувані процеси дозволяють отримати відносно низьку якість волоського горіха, тому необхідно дослідити нові методи дроблення горіхів, які підвищили б якість ядра волоського горіха. Як було виявлено, в основі процесу дроблення між двома паралельними пластинами поставлено за мету визначення мінімальної сили дроблення при якій цілісність ядра має бути максимальною.

Згодом на базі визначеної сили можна рахувати споживану енергію в процесі дроблення волоських горіхів для подальшої раціональної роботи обладнання для лущення волоського горіха.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Кінематика процесу. Схеми процесу дроблення горіхів між двома паралельними пластинами показані на рис. 1. Лущення волоських горіхів проводилось на вібраційному обладнанні, що згадувалось в роботах [4, 5].

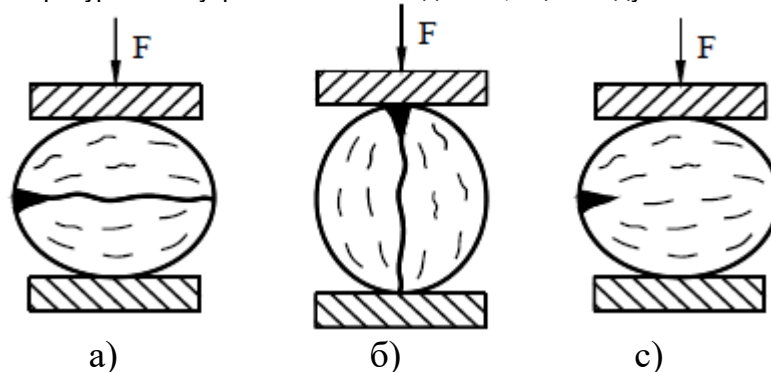


Рисунок 1 – Розташування горіха в різних положеннях: а) горизонтальне розташування горіха з дією перпендикулярної сили на поверхні сполучення; б) вертикальне розташування горіха з дією вертикальної сили; с) горизонтальне положення горіха з силою уздовж поверхні

В результаті проведення експериментів були отримані графічні кореляції між розміром деформації шкаралупи горіха і динамікою зміни рушійної сили вологості горіха $W = 5\%$ (рис. 2).

Аналіз отриманих графіків показує, що найбільшу силу розколювання зафіксовано у випадку горизонтального розташування горіха з дією перпендикулярної сили на поверхні. В цьому випадку сила досягає 480 Н. У випадку

вертикального розташування горіха з вертикальною дією його значення становить 360 Н. Для горизонтального розміщення горіха уздовж сполучної поверхні максимальної кількості сили досягає 250 Н [5].

Проте, можна сказати, що процес розриву шкаралупи волоського горіха, як показано на рис. 2 складається з чотирьох етапів, відповідних законам крихкого руйнування. Відомо що на першому етапі (0-а) відбувається виникнення контактів і пружних деформацій, які призводять до локальної концентрації напружень. Такому етапу характерний споживання певної кількості енергії (5%) від всієї енергії, необхідної для розриву. На другому етапі (а-б) відбувається збільшення стиснення шкаралупи горіха до



послаблення зв'язку між шкаралупи до мікротріщин, який споживає близько 65% від усієї енергії. Третій етап (б-в) відповідає за розвиток мікротріщин до формування макротріщин. В цьому випадку споживається

близько 25% всієї необхідної енергії. На четвертому етапі (в-г) відбувається розрив шкаралупи на декілька частин де споживається приблизно 4% енергії.

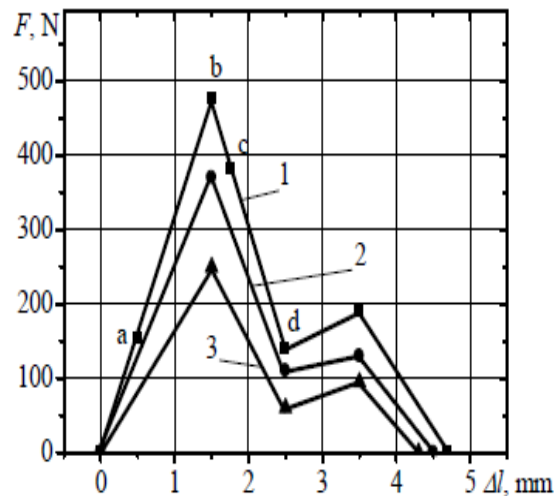


Рисунок 2 – Варіація сили (F), в залежності від деформації шкаралупи горіха (Δl) для товщини у 2,5 мм: 1 – горизонтальне розташування горіха з перпендикулярною дією сили на поверхні; 2 – вертикальне розташування горіха з вертикальною силою; 3 – горизонтальне розташування горіха з дією сили уздовж поверхні

Для отримання ядра зі шкаралупи горіха, деформація шкаралупи повинна тривати до 4-5 мм. В цьому випадку процес дроблення горіхів рахується закінченим.

Процес дроблення волоських горіхів в шкаралупі зводиться до створення полів деформацій в шкаралупі і напруги, яка перевищує допустиму силу горіха і спрямовані на розрив існуючих зв'язків, що існують між деякими атомами і молекулами. При дії сили, яка створює деформації, розрив шкаралупи горіха починається в місці існування мікротріщини шляхом їх появи в макротріщини [5].

За допомогою декількох дослідів, доказано що в шкаралупі волоського горіха існують тріщини, які як правило знаходяться на поверхні. Саме в цих місцях через присутність макротріщин відбувається сильний акцент напруженості, яка ламає шкаралупу горіха. В місці з'єднання половинок горіха знаходиться слабка зона, вздовж якої відбувається розрив шкаралупи. Якщо початкова сила буде зайвою, тоді поломка почнеться і в інших місцях.

Спочатку, тріщини щоб розвиватись, споживає більше енергії ніж виробляє вільна поверхнева енергія, після ослаблення напруженості. Вільна енергія являється пропорційною квадрату довжини тріщини глибини проникнення в матеріал. Необхідна енергія для формування двох нових поверхонь являється пропорційною довжини тріщини до першої сили (електростанції). Таким чином, початкова тріщина для її розвитку має витратити більшу енергію, ніж

виробляти вільну енергію для ослаблення напруженості, яка визначає його стійкість.

Якщо тріщина під впливом тиску починає розвиватися, то картина міняється діаметрально протилежно. Зі збільшенням тріщини вільна енергія збільшується швидше, так як вона пропорційна квадрату довжини тріщини. При певній критичній довжини, тріщина починає виробляти більше енергії, ніж споживає. У такому випадку, з дуже високою швидкістю вона може попасти в глибину корпусу і при розгалуженні утворюються порушення на поверхні (рис. 2). Іншими словами, згідно принципу Гріффітса, засновник теорії крихкого руйнування, існуюча тріщина починається розвивати значну швидкість, коли швидкість пружного вивільнення енергії деформації може перевищувати збільшення поверхневої енергії тріщини.

На рис. 3 показано графік залежності максимальної сили дроблення шкаралупи горіха при 5% вологості.

Наприклад, при товщині шкаралупи у 1,0 мм у випадку горизонтального розташування горіха з перпендикулярної сили на поверхні, максимальна сила має значення у 250 Н, а при товщині у 2,5 мм – 480 Н. Крім того, було виявлено, що сила дроблення також залежить від вологості горіха.

На рис. 4 показано графік залежності максимальної сили дроблення горіхів при різній товщині шкаралупи для випадку горизонтального розташування горіха між двома пластинами з



перпендикулярною силою на поверхні з'єднання половинок горіха [5].

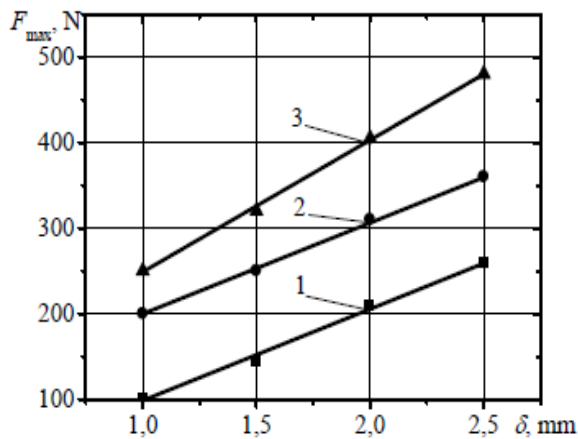


Рисунок 3 – Варіація максимальної сили дроблення (F_{max}) в залежності від товщини шкаралупи горіха (δ , мм), вологості горіха $W = 5\%$: 1; 2; 3 – див. рис. 2, вологість горіха $W = 5\%$: $F_{max} = 153,01 \cdot \delta + 97,12$; $F_{max} = 100,11 \cdot \delta + 100,03$; $F_{max} = 120,14 \cdot \delta + 20,02$

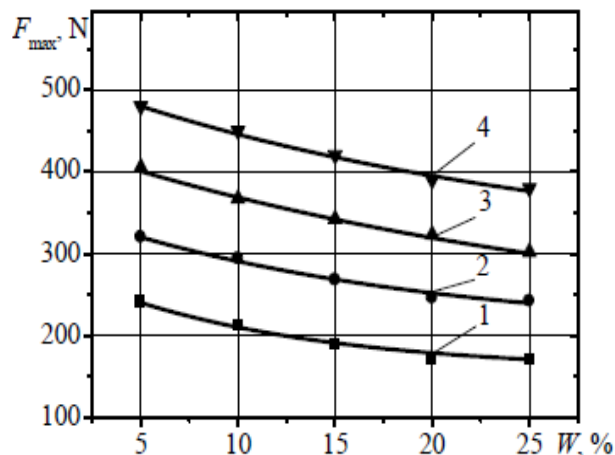


Рисунок 4 – Варіація максимальної сили дроблення в залежності від вологості горіхів при різній товщині шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм $F_{max} = 156,75 + 129,97 \cdot e^{-W/1,20}$; 2 – 1,5 мм $F_{max} = 201,59 + 157,54 \cdot e^{-W/17,48}$; 3 – 2,0 мм $F_{max} = 197,93 + 240,21 \cdot e^{-W/29,24}$; 4 – 2,5 мм $F_{max} = 293,56 + 228,36 \cdot e^{-W/24,61}$

Як видно з отриманих графіків, з підвищенням вологості горіхів максимальна сила дроблення зменшується. Наприклад, для $\delta = 2,5$ мм, при 5% вологості максимальна сила дроблення – 480 Н, а при 25% вологості – 380 Н. Для товщини шкаралупи у 1,0 мм, максимальна сила дроблення – 230 Н, при 5% вологості і 180 Н при 25% вологості.

Якісний аналіз процесу показав, що оптимальна вологість дроблення горіхів знаходиться в межах 13-16%. Для випадку горизонтального розташування горіха між двома паралельними пластинами з дією перпендикулярної сили на поверхні, цілісність ядра при 15% вологості склала 67%.

На рис. 5. показано графік залежності максимальної сили дроблення відповідно до вологості горіхів при різних товщинах шкаралупи для випадку вертикального розташування горіха між двома паралельними пластинами з вертикальною рушійною силою.

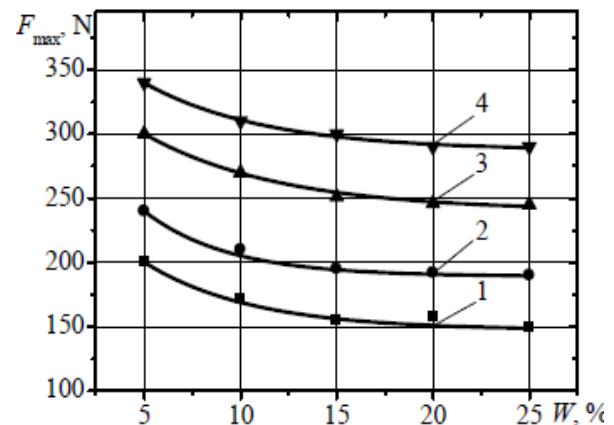


Рисунок 5 – Варіація максимальної сили дроблення в залежності від вологості горіхів різної товщини шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм $F_{max} = 147,31 + 129,44 \cdot e^{-W/5,58}$; 2 – 1,5 мм $F_{max} = 189,19 + 160,48 \cdot e^{-W/4,34}$; 3 – 2,0 мм $F_{max} = 240,09 + 112,46 \cdot e^{-W/7,01}$; 4 – 2,5 мм $F_{max} = 287,14 + 116,65 \cdot e^{-W/6,26}$;

Наприклад, для товщини шкаралупи у 1,0 мм, при 5% вологості, максимальна сила дроблення становить 200 Н, а при 25% вологості – 150Н. При товщині шкаралупи у 2,5 мм, максимальна сила дроблення становить 340 Н при вологості 5% і 290 Н при вологості 25%. Для вертикального розташування горіха з дією сили цілісність ядра при 15% вологості склало – 76%.

На рис. 6. показано графік залежності максимальної сили дроблення з вологістю горіхів при різних товщинах шкаралупи для випадку горизонтального розташування горіха між двома паралельними пластинами з дією сили вздовж щілини.

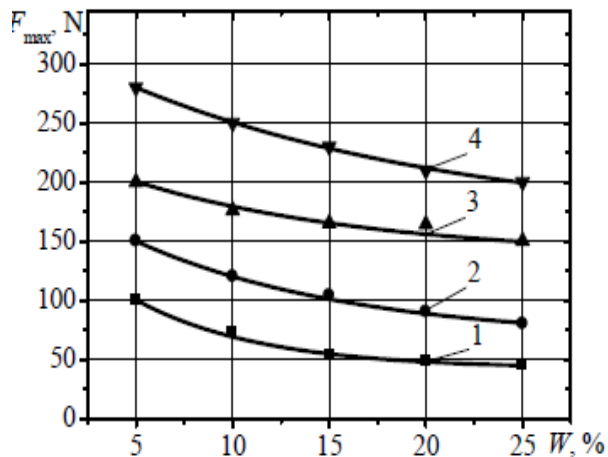
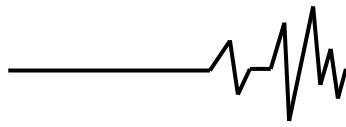


Рисунок 6 – Варіація максимальної сили дроблення в залежності від вологості горіхів різної товщини шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм $F_{\max} = 41,95 + 125,67 \cdot e^{-W/6.50}$; 2 – 1,5 мм $F_{\max} = 66,75 + 129,97 \cdot e^{-W/11.20}$; 3 – 2,0 мм $F_{\max} = 136,44 + 94,96 \cdot e^{-W/12.56}$; 4 – 2,5 мм $F_{\max} = 161,59 + 157,54 \cdot e^{-W/17.48}$

Наприклад, для товщини шкаралупи $\delta = 2,0$ мм, при 5% вологості максимальна сила дроблення становить 200 Н, а при 25% вологості – 150 Н. При товщині шкаралупи у 1,0 мм, максимальна сила дроблення становить 340 Н при 5% вологості і 50 Н при 25% вологості [5].

Цілісність ядра у видку горизонтального розташування горіха між двома паралельними пластинами з дією сили уздовж поверхні при вологості 15% склала 72%.

Якісний аналіз процесу дроблення горіхів при їх розташуванні між двома паралельними пластинами в різних позиціях продемонстрував, що максимальна цілісність серцевини – 76%, що реєструється у випадку вертикального розміщення горіха з дією вертикальної сили при 15% вологості.

Енергетична характеристика процесу руйнування шкаралупи. В основу експериментально визначеної сили в процесі дроблення було визначено витрачену енергію дроблення горіхів при їхньому розташуванні в різних положеннях між двома паралельними пластинами.

Таким чином, на рис. 7. представлено варіацію максимальної енергії дроблення в залежності від товщини шкаралупи при 5% вологості для різних позицій розташування горіха.

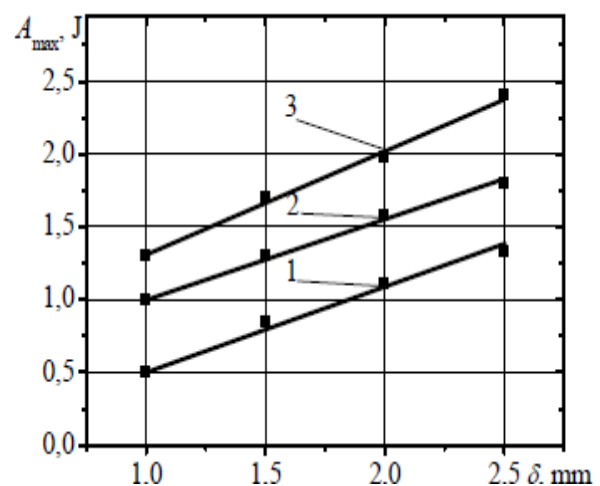


Рисунок 7 – Варіація максимальної енергії дроблення (A_{\max} , J) в залежності від товщини шкаралупи волоського горіха (δ , мм) для різних позицій розміщення горіха між двома паралельними пластинами: 1 – горизонтальне розміщення горіха з перпендикулярною дією сили на поверхні з'єднання $A_{\max} = 0,90 \cdot \delta + 0,41$; 2 – вертикальне розташування горіха з вертикальною дією сили $A_{\max} = 0,57 \cdot \delta + 0,43$; 3 – горизонтальне розташування горіха з дією сили уздовж поверхні з'єднання $A_{\max} = 0,90 \cdot \delta + 0,41$.

Аналіз отриманих графіків демонструють що споживана енергія в процесі дроблення зростає зі збільшенням товщини шкаралупи волоського горіха. У той же час споживання енергії залежить і від розташування горіха в процесі дроблення. Таким чином, максимальна енергія в процесі дроблення реєструється у випадку горизонтального розміщення горіха з перпендикулярною дією на щілині. У цьому випадку для товщини шкаралупи горіха $\delta = 2,5$ мм, значення енергії становить – 2,4 Дж. У разі вертикального розміщення горіха з вертикальною дією, значення енергії з товщиною у 2,5 мм становить – 1,7 Дж. Для горизонтального розташування горіха з дією уздовж уцелини максимальна значення енергії становить – 1,3 Дж.

Також, було визначено витрачену енергію в процесі подрібнення горіхів відповідно до їх вологості для тих трьох випадках розміщення (розташування) горіхів. Таким чином, на рис. 8. представлено графік залежності максимальної споживаної енергії в процесі дроблення горіхів з їхньої вологості при різних товщинних шкаралупи у випадку горизонтального розміщення горіха між двома паралельними пластинами з перпендикулярною дією сили на поверхні щілини.

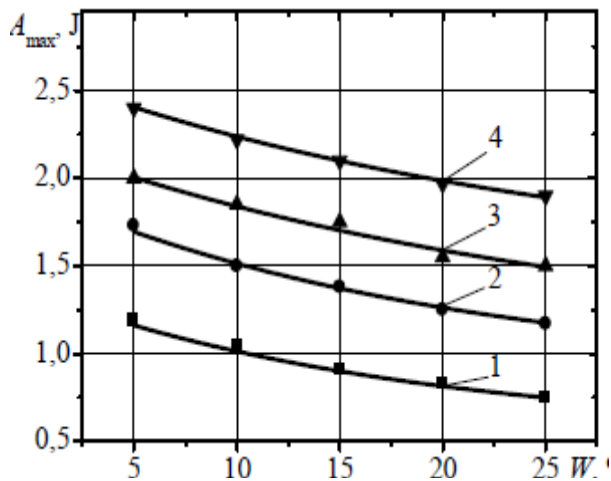
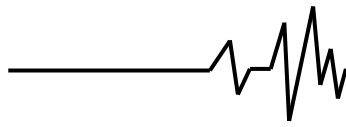


Рисунок 8 – Варіація максимальної енергії дроблення в залежності від вологості горіхів при різних товщинах шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм

$A_{\max} = 0,45 + 0,81 \cdot e^{-W/18,25}$; 2 – 1,5 мм $A_{\max} = 0,87 + 1,05 \cdot e^{-W/20,16}$; 3 – 2,0 мм $A_{\max} = 1,02 + 1,17 \cdot e^{-W/27,13}$; 4 – 2,5 мм $A_{\max} = 1,44 + 1,16 \cdot e^{-W/26,07}$.

Як видно з отриманих графіків з підвищенням вологості горіхів споживана енергія в процесі дроблення зменшується. Наприклад, для $\delta = 2,5$ мм при 5% вологості максимальна енергія дроблення становить 2,4 Дж і при 25% вологості – 1,8 Дж.

На рис. 9. представлено графік залежності максимальної енергії дроблення з вологістю горіхів при різних товщинах шкаралупи у випадку вертикального розміщення горіха між двома паралельними пластинами з вертикальною дією сили [5].

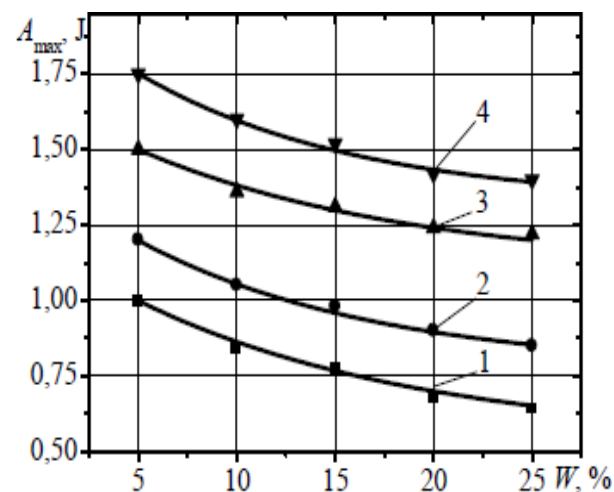


Рисунок 9 – Варіація максимальної енергії дроблення в залежності від вологості горіхів при різних товщинах шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм $A_{\max} = 0,53 + 0,65 \cdot e^{-W/14,31}$; 2 – 1,5 мм $A_{\max} = 0,77 + 0,64 \cdot e^{-W/12,11}$; 3 – 2,0 мм

$A_{\max} = 1,10 + 0,56 \cdot e^{-W/13,98}$; 4 – 2,5 мм $A_{\max} = 1,32 + 0,67 \cdot e^{-W/11,17}$.

Аналіз отриманих графіків демонструє, що для товщини шкаралупи у $\delta = 1,0$ мм при 5% вологості максимальна енергія дроблення становить 1,0 Дж, а при 25% вологості – 0,7 Дж.

На рис. 10. представлено графік залежності максимальної енергії дроблення горіхів при різних товщинах шкаралупи у випадку горизонтального розміщення горіха між двома паралельними пластинами з дією сили уздовж поверхні ущелини.

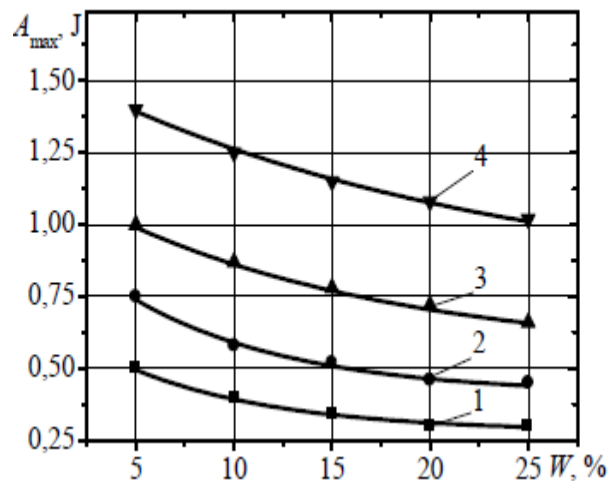


Рисунок 10 – Варіація максимальної енергії дроблення в залежності від вологості горіхів при різних товщинах шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм; $A_{\max} = 0,28 + 0,41 \cdot e^{-W/7,75}$; 2 – 1,5 мм; $A_{\max} = 0,41 + 0,60 \cdot e^{-W/8,31}$; 3 – 2,0 мм; $A_{\max} = 0,54 + 0,63 \cdot e^{-W/14,89}$; 4 – 2,5 мм; $A_{\max} = 0,76 + 0,80 \cdot e^{-W/21,03}$

Аналіз графіків (рис. 10) демонструє, що для товщини шкаралупи у 2,5 мм при 5% вологості максимальна енергія становить 1,4 Дж, а при 25% вологості – 1,0 Дж.

Аналізи графіків (рис. 8-10) демонструють що максимальна енергія дроблення реєструється у випадку горизонтального розташування горіха з перпендикулярною дією на щілину.

Висновки. В роботі ґрунтовно досліджено процес розколювання волоського горіха між двома паралельними пластинами. Отримано велику кількість залежностей вагомих факторів, що впливають на процес розколювання. Знайдені залежності та параметри допоможуть в майбутньому інженерам-дослідникам при конструюванні нового обладнання для розколювання (луцення) волоського горіха або продукції схожої за своїми властивостями.

**Список використаних джерел**

1. Донцова І. В. Горіх волоський – перспективна високоцінна продовольча та промислова сировина / І. В. Донцова, В. Т. Лебединець, Л. І. Гірняк // Актуальні проблеми економіки і торгівлі в сучасних умовах євроінтеграції : матеріали щорічної наукової конференції. – Львів : вид-во Львівського торговельно-економічного університету. 2017 р. – С. 92–98.

2. Федосова К. С. Розробка технології консервування водяного горіха : Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.18.13 / К. С. Федосова; Одес. нац. акад. харч. технологій. – О., 2005. – 19 с. – укр.

3. Бойко А. В. Установка для розколювання горіхів / А. В. Бойко, М. Р. Музика // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». – Луцьк, 2010. Випуск № 29. – С. 28–31.

4. Полевода Ю. А. Визначення фізико-механічних параметрів шкаралупи волоського горіха / Ю. А. Полевода, І. В. Твердохліб, В. С. // Вібрації в техніці та технологіях. Всеукр. наук. техн. журнал. Вінниця – Вип. 2 (93), 2019 – С. 12–17.

5. 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.

6. Пат. КМ 91325 Україна. Вібраційне обладнання для лушення волоських горіхів. Опубл. 25.06.2014.

7. Пат. КМ 137018 Україна. Обладнання для лушення волоських горіхів. Опубл. 25.09.2019.

8. Пат. КМ 137176 Україна. Обладнання для лушення волоських горіхів. Опубл. 10.10.2019.

9. Пат. КМ 137177 Україна. Обладнання для лушення волоських горіхів. Опубл. 10.10.2019.

Список джерел у транслітерації

1. Dontsova I. V. Horikh voloskyi – perspektyvna vysokotsinna prodovolcha ta promyslova syrovyna. (2017). Aktualni problemy ekonomiky i torhivli v suchasnykh umovakh yevrointehratsii : materialy shchorichnoi naukovoї konferentsii. Vyd-vo Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu. Lviv [in Ukraine].

2. Fedosova K. S. (2005). Rozrobka tekhnolohii konservuvannia vodianoho horikha. Avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 05.18.13. Odes. nats. akad. kharch. tekhnolohii. Odesa [in Ukraine].

3. Boiko A. V. (2010). Ustanovka dlia rozkoliuvannia horikhiv. Mizhvuzivskyi zbirnyk «NAUKOVI NOTATKY». Lutsk [in Ukraine].

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

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

6. Pat. КМ 91325 Ukraina. (2014). Vibratsiine obladnannia dlia lushchennia voloskykh horikhiv. Opubl. 25.06.2014. [in Ukraine].

7. Pat. КМ 137018 Ukraina. (2019). Obladnannia dlia lushchennia voloskykh horikhiv. Opubl. 25.09.2019. [in Ukraine].

8. Pat. КМ 137176 Ukraina. (2019). Obladnannia dlia lushchennia voloskykh horikhiv. Opubl. 10.10.2019. [in Ukraine].

9. Pat. КМ 137177 Ukraina. (2019). Obladnannia dlia lushchennia voloskykh horikhiv. Opubl. 10.10.2019. [in Ukraine].

Исследование процесса шелушение грецких орехов между двумя параллельными пластинами

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 орехов с использованием низкочастотных колебаний.

Широко проанализированы кинематику процесса дробления орехов между двумя параллельными пластинами. Были получены графические корреляции между размером деформации скорлупы ореха и динамикой изменения движущей силы влажности ореха. Выявлено, что процесс разрушения скорлупы грецкого ореха, состоит из четырех этапов, соответствующих законам хрупкого разрушения.

Представлено: - зависимости максимальной силы дробления скорлупы ореха при 5% влажности; - зависимости максимальной силы дробления орехов при разной толщине скорлупы для случая горизонтального расположения ореха между двумя пластинами с перпендикулярной силой на поверхности соединения половинок ореха; - зависимости максимальной силы дробления согласно влажности орехов при различных толщинах скорлупы для случая вертикального расположения ореха между двумя



параллельными пластинами с вертикальной движущей силой; - зависимости максимальной силы дробления с влажностью орехов при различных толщинах скорлупы для случая горизонтального расположения ореха между двумя параллельными пластинами с действием силы вдоль щели.

Также определено потраченную энергию раскалывания (дробление) орехов при их расположении в разных положениях между двумя параллельными пластинами. Где было доказано, что потребляемая энергия в процессе дробления возрастает с увеличением толщины скорлупы грецкого ореха. В то же время доказано, что потребление энергии зависит и от расположения ореха в процессе дробления. Проведенные анализы графиков, где следует что максимальная энергия дробления регистрируется в случае горизонтального расположения ореха с перпендикулярной действием на щель.

В данном исследовании получено большое количество информации, касающейся раскалывания грецкого ореха в зависимости от структурно-механических характеристик продукции, которые в процессе переработки имеют весомые значение для определения тех или иных рациональных технологических параметров.

Ключевые слова: процесс раскалывания, энергия раскалывания, движущая сила, динамика изменения, влажность.

Investigation of the process of peeling walnuts between two parallel plates

The article provides a detailed overview of the process of splitting the kernel of a walnut. Examples of many ways to split the shell are given, all of their disadvantages and advantages are listed. The mechanical method of peeling nuts using low-frequency oscillations has been theoretically investigated and substantiated.

The kinematics of the process of crushing nuts between two parallel plates has been extensively analyzed. Graphical correlations were obtained between the size of the nut shell and the

dynamics of the driving force of the nut moisture. It is revealed that the process of destruction of the shell of a walnut consists of four stages, corresponding to the laws of brittle destruction.

Presents: - dependence of the maximum force of crushing of a shell of a nut at 5% humidity; - the dependence of the maximum crushing force of nuts at different shell thickness for the case of horizontal positioning of the nut between two plates with perpendicular force on the surface of the joint halves of the nut; - the dependence of the maximum crushing force according to the humidity of the nuts at different shell thicknesses for the case of vertical positioning of the nut between two parallel plates with a vertical driving force; - the dependence of the maximum crushing force with the moisture of the nuts at different shell thicknesses for the case of horizontal positioning of the nut between two parallel plates with a force action along the slit.

The energy of splitting (crushing) of nuts at their location in different positions between two parallel plates is also determined. Where it has been proved that the energy consumed in the process of crushing increases with the thickness of the shell of a walnut. At the same time, it is proved that energy consumption depends on the location of the nut in the process of crushing. Graph analyzes were performed to show that maximum crushing energy is recorded in the case of a horizontal arrangement of a nut with a perpendicular crack action.

In this study, a large amount of information was obtained regarding the splitting of the walnut, depending on the structural and mechanical characteristics of the products, which in the process of processing are important for the determination of certain rational technological parameters.

Keywords: splitting process, splitting energy, driving force, dynamics of change, humidity.

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: Vinnitsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: vinyura36@gmail.com.