УДК 330.341.1:634.51

INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF DESTRUCTION OF THE WALNUT SHELLS

O. Negrey, A. Ukrainets*National University of Food Technologies*

Key words:

walnut,
crushing,
shell destruction

Article history:

Received 04.09.2019
Received in revised form
12.10.2019
Accepted 23.11.2019

Corresponding author:

o.negrei7@gmail.com

ABSTRACT

The article provides information regarding the peculiarities of the destruction of the walnut shells in the conditions of interaction of walnuts with parallel plates and when replacing the support plate by a ring with a chamfer.

An important factor in influencing the crushing process is the humidity of the shells, for which 15% of the highest quality of the processes. The obtained graphical and mathematical interpretations of experimental studies led to the conclusion that the crushing of walnuts was limited by the force of their interaction between the parallel plates. This option corresponds to the case of axial stress state in the presence of contact stresses. The transition to cases of flat and even spatial stress is predicted in improving the quality of grinding processes.

In further studies it is advisable to deepen the information on the processes of crushing in the modes of bulk stress states, in which there is a possibility to achieve the value of the reactions of the reference planes in excess of the external force action. In new systems, it is desirable to achieve the limitations of the radial deformations of the walnut shells.

Dependencies on the dynamics of the destruction of shells of nuts indicate the existence of four stages corresponding to brittle materials. This number of steps corresponds to the following provisions. In the first stage, local concentrations of stresses with energy costs of about 5% of the total amount are reached. The deformations of the second stage correspond to energy costs of about 65%, and the third stage is accompanied by the formation of macro-cracks of shells with 25% of energy costs. The fourth stage corresponds to the destruction of energy consumption at the level of 4—5%. In this case, the absolute deformation at the time of destruction should be 4 ... 5 mm.

The dependence on the deformations and fractures of the shells of nuts with the approximation of the optimal humidity up to 13—16% is shown.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-12

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ОБОЛОНОК ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

О. В. Негрей

А. І. Українець, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті наведено інформацію про особливості руйнування горіхових оболонок в умовах взаємодії плодів з паралельними пластинами і при заміні опорної пластини кільцем з фаскою. Головне завдання технології полягає в одержанні якомога більшої кількості цілих ядер горіхів. Показано, що сучасні теорії руйнування твердих матеріалів і тіл практично не можуть бути застосовані при описі процесів дроблення оболонок горіхів, як і теорії міцності, викладені в курсах опору матеріалів. Завдання збереження форми і цілісності ядер становить основну суперечність технології. У подальших дослідженнях доцільно поглибити інформацію про процеси лушення в режимах об'ємних напружених станів, за яких існує можливість досягти значення реакцій опорних площин, що перевищує зовнішню силову дію. В нових системах бажано досягти обмежень радіальних деформацій оболонок горіхів.

Ключові слова: волоський горіх, лушення, руйнування оболонок, об'ємний напружений стан.

Постановка проблеми. Лушення волоських горіхів супроводжується руйнуванням оболонок з подальшим відділенням їх від ядер і внутрішніх перегородок. Головною вимогою щодо процесу при цьому є максимально досягнута збереження цілісності ядер. З теорій дроблення твердих матеріалів і положень, які стосуються теорій міцності опору матеріалів, випливає, що досягнення станів з граничними напруженнями в твердих тілах пов'язується з відповідними співвідношеннями навантажень і деформацій [1; 2]. Особливістю випадку з волоськими горіхами є порівняно міцні їхні оболонки, а їх форма в наближенні до сферичної означає природний потяг до геометрії, яка відповідає максимуму об'єму за мінімуму площі поверхні. Той же природний ресурс передбачає в процесі пророщування плодів дію внутрішніх силових факторів з боку вологонасиченого ядра. На відміну від останнього, лушення горіхів пов'язано із зовнішніми силовими діями. Це означає, що в пошуку аналогів таких навантажень слід звертатися до теорій розрахунків оболонок під дією зовнішніх силових факторів [3; 4]. Однак у подібних пошуках відсутні достатньо аргументовані теорії розрахунку оболонок, які знаходяться під дією внутрішніх тисків. Незрівнянно менше звертань до визначень умов міцності оболонок в умовах зовнішніх тисків. Розрахунки ж оболонок під дією локальних точкових або розподілених навантажень пов'язуються з наявністю в них додаткових бандажів, розпірок, ребер жорсткості тощо [3].

Відсутність повноцінного аналога теорій розрахунку навантажень і деформацій у процесах лушення горіхів означає необхідність у спеціальних теоретичних і експериментальних пошуках.

Мета дослідження: пошук можливостей удосконалення теорії і практики лушення волоських горіхів з високим рівнем цілісності їх ядер.

Матеріали і методи стосуються горіхів як об'єктів дослідження в пошуках залежностей між зовнішніми силовими впливами, деформаціями, досягненнями критичних станів і результатами процесів лушення. Теоретичним підґрунтям є

положення курсу опору матеріалів, закони Гука, теорії міцності, енергетичні баланси, теорії дроблення твердих матеріалів і тіл [5—7].

Результати досліджень стосуються пошуків можливостей досягати дроблення оболонок горіхів за мінімальних силових дій і енергетичних витрат при високому рівні збереження цілісності ядер. При цьому головне завдання цих пошуків стосується вимоги саме цілісності ядер.

При загальній оцінці ситуації існує феноменологічний перелік факторів впливу. Гіпотетично до них відносимо габаритні розміри і форму горіхів у наближенні до сферичної або еліпсоїдної, товщину оболонок, їх вологість, фізико-механічні характеристики матеріалів оболонок, орієнтацію плода відносно лінії дії силових факторів, кількість і розподіл зон прикладання зовнішніх сил, види сполучень навантажень і напружень тощо [4]. До числа найпростіших віднесемо випадки стискання горіхів між двома паралельними пластинами, що відповідає схемі на рис. 1.

Рис. 1. Схеми розташування і навантаження горіхів між паралельних пластин:

- а) горизонтальне з дією перпендикулярної сили на поверхні сполучення;
- б) вертикальне з дією вертикальної сили;
- в) горизонтальне положення горіха з силою уздовж поверхні

Горизонтальній орієнтації відповідають випадки *а* і *в* з різницею положення площини роз'єму горіхів. Очевидно, що їм відповідають більші площі контактування з пластинами порівняно з випадком *б*. Останнє означає присутність різних величин контактних напружень, що вказує на можливість врахування цієї особливості. Результати експериментальних визначень співвідношень між силовими діями і деформаціями відображено на рис. 2.

Рис. 2. Залежності силових дій і деформацій від орієнтації горіха з товщиною оболонки 2,5 мм

Графік 1 відповідає горизонтальній орієнтації горіха і перпендикулярним розташуванням площини роз'єму і напрямком силової дії. Графік 2 — напрямки площини роз'єму силової дії збігаються, а графік 3 описує випадок, коли останні збігаються за горизонтальної орієнтації горіха. З аналізу графіків залежності $F = F(\Delta\ell)$ випливає, що найбільше значення $F = 480$ Н відповідає графіку 1, за вертикальної орієнтації горіха маємо $F = 360$ Н (графік 2) і у випадку графіка 3 маємо $F = 250$ Н. Такі помітні відхилення в значеннях критичних навантажень є наслідком неізотропності матеріалу оболонки, наявності особливостей структури в площинах роз'єму та різною геометрією. Геометрія залежності $F = F(\Delta\ell)$ приводить до висновку про існування чотирьох етапів, відповідних законам крихкого руйнування. При цьому наявність чотирьох етапів відповідає вказаним трьома випадкам. Під час луцення на першому етапі контактування виникають локальні концентрації напружень з енергетичними витратами 5% від загальної кількості. Другий етап характеризується зростанням деформації оболонки з енергетичними витратами біля 65%. На третьому етапі мікротріщини оболонки зростають до макротріщин з 25% енергетичних витрат, а четвертому етапу відповідає руйнування оболонки з утворенням кількох частин з енерговитратами біля 4...5%. Для одержання і відокремлення ядер з оболонок горіхів деформації останніх повинні досягати 4...5 мм.

Візуальні спостереження показують, що часто в оболонках горіхів існують поверхневі тріщини, які за деформацій збільшуються до макротріщин. Поверхні, що прилягають до зони роз'єму також характеризуються механічними послабленнями.

Оцінка впливів різних факторів можлива за умови стабілізації інших показників можливих впливів. Так, для умов трьох попередніх випадків за стабілізації вологості на показнику 5% визначено впливи товщини оболонок на руйнівні сили навантаження за інших рівних умов (рис. 3).

Рис. 3. Залежність критичних сил дроблення від товщини оболонки

Математичні формалізації щодо вказаних трьох випадків мають вигляд:

$$F_{max} = 153,01\delta + 97,12 \text{ Н}; \quad (1)$$

$$F_{max} = 100,11\delta + 100,03 \text{ Н}; \quad (2)$$

$$F_{max} = 120,14\delta + 20,03 \text{ Н}. \quad (3)$$

Попередні дослідження привели до висновку про помітний вплив вологості як на статику, так і на динаміку навантажень. На рис. 4 наведено графік залеж-

ності максимальної сили дроблення за різних товщин оболонок для випадку горизонтального розташування горіха між двома пластинами з перпендикулярним напрямком силової дії по площині роз'єму.

Рис. 4. Залежність сили дроблення оболонок від вологості горіхів при товщині оболонок δ :

1 — 1,0 мм; 2 — 1,5 мм; 3 — 2,0 мм; 4 — 2,5 мм

Математична формалізація цього випадку приведена до форми:

$$F_{\max} = 156,75 + 129,97e^{-w/1,2}, \text{ Н}; \quad (4)$$

$$F_{\max} = 201,95 + 157,54e^{-w/17,48}, \text{ Н}; \quad (5)$$

$$F_{\max} = 197,93 + 240,21e^{-w/29,24}, \text{ Н}; \quad (6)$$

$$F_{\max} = 293,56 + 228,36e^{-w/24,61}, \text{ Н}. \quad (7)$$

Якісний аналіз показав, що оптимальна вологість дроблення оболонок знаходиться в межах 13...16%.

За вологості 15% в цьому досліді цілісність ядра складала 67%.

Рис. 5. Залежність сили дроблення оболонок від вологості горіхів при товщині оболонок δ :

1 — 1,0 мм; 2 — 1,5 мм; 3 — 2,0 мм; 4 — 2,5 мм

На рис. 5 наведено графік залежності максимальних сил дроблення оболонок від вологості горіхів при різній товщині оболонки для випадку вертикального розташування горіха між двома паралельними пластинами з вертикальною руйнівною силою. За товщини оболонки 1,0 мм при 5% вологості $F_{\max}$ становить 200, при $W = 25\%$ – 150 Н. При товщині оболонки 2,5 мм маємо $F_{\max} = 340$ Н за $W = 5\%$ і $F_{\max} = 290$ Н за $W = 25\%$. Для вертикальної орієнтації горіха цілісність ядра при $W = 15\%$ складала 76%.

Математична інтерпретація залежностей руйнівної сили $F_{\max}$ від вологості для випадку горизонтальної орієнтації горіхів під дією сил уздовж площини роз'єму має вигляд:

$$F_{\max} = 156,75 + 129,97e^{-W/1,2}, \text{ Н}; \quad (8)$$

$$F_{\max} = 201,95 + 157,54e^{-W/17,48}, \text{ Н}; \quad (9)$$

$$F_{\max} = 197,93 + 240,21e^{-W/29,24}, \text{ Н}; \quad (10)$$

$$F_{\max} = 293,56 + 228,36e^{-W/24,61}, \text{ Н}. \quad (11)$$

Рис. 6. Схема визначення силових дій у клинчастому жолобі

Цілісність ядра у випадку горизонтального розташування горіхів між двома паралельними пластинами за дії сил уздовж роз'єму при вологості 15% складала 72%.

Дані цієї серії дослідів свідчать про відносно низьку якість, що визначає необхідність подальших пошуків у технічній організації процесів лущення горіхів.

Наступний етап стосувався процесів лущення за умови заміни нижньої опорної плити кільцем. Такий перехід означає теоретично різне збільшення зон контактування горіхів з лінією опорної конструкції [8; 9]. Проте за відсутності ідеальної форми горіхів і навіть за відносно точної і прогнозованої геометрії опорного кільця повний контакт є недосяжним. З точки зору положень механіки найбільш вірогідним контакт буде мати місце в трьох точках (а з урахуванням з деформаціями — в трьох плямах). Важливо, що така особливість контактування буде мати підвищений результат щодо задачі руйнування оболонки. На підтвердження цього положення слід згадати відомий з тієї ж механіки ефект клину, за якого на бічних гранях

розвиваються зусилля у формі відповідних реакцій, які можуть суттєво перевищувати силову дію $F_{\max}$. На рис. 6 відповідно до цих положень наведено схему силових дій. Умова статичної рівноваги записується відповідною сумою сил, за якої

$$\bar{F}_{\max} + \bar{N}_1 + \bar{N}_2 = 0. \quad (12)$$

З плану сил, що їй відповідає, очевидно, що співвідношення між модулями $F_{\max}$. В умовах, коли кожна з силових дій створює свою частку в створенні напруженого стану, приходимо до висновку про важливість цього положення. Тим паче, що в залежності від обраного кута γ досягаються умови $N_1 \gg F_{\max}$ і $N_2 \gg F_{\max}$. Окрім того, за певної асиметрії легко реалізується умова $N_1 \neq N_2 > F_{\max}$.

Рис. 7. Схема до випадку з опорним кільцем

При цьому на опорній поверхні можливо реалізувати наявність трьох точок опори. Якщо за двох точок опори досягається плоский напружений стан, то за трьох точок здійснюється перехід до об'ємного напруженого стану.

За двох точок опори і симетричного розташування опорних площин значення реакцій N_1 і N_2 будуть рівними і визначатимуться залежностями:

$$N_1 = N_2 = \frac{F_{\max}}{2 \sin \gamma}. \quad (13)$$

Очевидно з точки зору можливостей досягнення прогнозованих значень реакцій опор такий випадок забезпечує широкий діапазон. Перехід до системи з кільцевою конструкцією теоретично має привести до розподіленої реакції по лінії контакту, що має відповідати присутності деформацій певного рівня. Характер силових співвідношень при цьому буде залежати від геометричних параметрів горіхів, кільця і кутів поверхонь на фасках кільця. В експериментальних дослідженнях внутрішній діаметр кільця був змінним з кроком 2 мм в діапазоні від 20 до 30 мм (рис. 7). Скоси поверхонь фасок виконувалися під кутами 15, 30, 45 і 60°.

Узагальнений графік залежностей $F = F(\Delta \ell)$ наведений на рис. 8 за значень вологості оболонки $W = 5\%$ і товщини $\delta = 2,5$ мм. З нього видно, що процеси деформацій і руйнування оболонок проходять через ті ж чотири етапи, які відповідали силовим впливам між паралельними пластинами. При цьому максимальна руйнівна сила в 555 Н відповідала куту скосу $\alpha = 30^\circ$. За значень $\alpha = 45, 60$ і 15° відповідно $F_{\max} = 455, 380$ і 275 Н.

Рис. 8. Графіки залежності сили навантажень від деформації оболонки горіхів

Варіаціями залежностей значень $F_{\max}$ від товщини оболонок відповідають математичні формалізації:

$$F_{\max} = 111,1\delta + 8,9, \text{ Н при } \alpha = 15^\circ; \quad (14)$$

$$F_{\max} = 166,6\delta + 133,4, \text{ Н при } \alpha = 30^\circ; \quad (15)$$

$$F_{\max} = 125\delta + 235, \text{ Н при } \alpha = 45^\circ; \quad (16)$$

$$F_{\max} = 111,1\delta + 108,9, \text{ Н при } \alpha = 60^\circ. \quad (17)$$

Впливи кута скосу у 30° відображаються значеннями $F_{\max}$ у 300, 375, 450 і 560 Н за товщин оболонок, відповідно, 1,0; 1,5; 2,0 і 2,5 мм.

Для кута скосу у 15° одержано оцінки впливу вологості у формі:

$$F_{\max} = 72,81 + 75e^{-W/16,8}, \text{ Н при } \delta = 1 \text{ мм}; \quad (18)$$

$$F_{\max} = 110,6 + 77,9e^{-W/18,15}, \text{ Н при } \delta = 1,5 \text{ мм}; \quad (19)$$

$$F_{\max} = 175,26 + 92,5e^{-W/9,34}, \text{ Н при } \delta = 2 \text{ мм}; \quad (20)$$

$$F_{\max} = 206,44 + 94,96e^{-W/12,56}, \text{ Н при } \delta = 2,5 \text{ мм}. \quad (21)$$

Висновки. Аналіз особливостей технологій лущення волоських горіхів показав їх відмінності, які складно або зовсім неможливо перекласти на теорії дроблення твердих матеріалів, твердих тіл і теорії міцності опору матеріалів. Головна відмінність пов'язана з технологічним завданням одержання цілих ядер у якомога більшій кількості. Фізична сутність суперечності пов'язана з тим, що досягнення умов руйнування оболонок здійснюється через їх деформації, рівень яких може стосуватися і ядер. Важливим фактором впливу на процес дроблення є вологість оболонок, за 15% якої досягаються найвищі якості процесів. одержані графічні і математичні інтерпретації експериментальних досліджень дали змогу прийти до висновку про обмежену результативність лущення горіхів за силової їх взаємодії між паралельними пластинами. Такий варіант відповідає випадку осьового напруженого стану за наявності контактних напружень. Певною перспективою у підвищенні якості процесів подрібнення прогнозується перехід до випадків плоского і навіть просторового напруженого стану. Одним із випадків реалізації останнього визначено контактування горіхів з опорою у формі кільця з внутрішніми фасками.

У подальших дослідженнях доцільно більш глибоко вивчити процеси лущення в режимах об'ємних напружених станів, за яких існує можливість досягти значення реакцій опорних площин, що перевищує зовнішню силову дію. В нових системах бажано досягти обмежень радіальних деформацій оболонок горіхів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технологічне обладнання зернопереробних і олійних виробництв: навчальний посібник / Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздев О. В., Ялпачик Ф. Ю., Гвоздев В. О. — Вінниця: Нова книга, 2008. — 488 с.

2. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. — Киев: Наукова думка, 1988. — 736 с.

3. Справочник механика пищевой промышленности / А. И. Соколенко, А. И. Украинец, В. Л. Яровой и др.; Под ред. А. И. Соколенка. — Киев: АртЭк, 2004. — 304 с.

4. Инфопедия: механізм подрібнення твердих тіл (теорії подрібнення). URL: <https://infopedia.su/1x984.html> (дата звертання 04.07.2019).

5. Вікіпедія: Закон Гука. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%93%D1%83%D0%BA%D0%B0 (дата звертання 04.07.2019).

6. Вікіпедія: Дроблення корисних копалин. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%81%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BD (дата звертання 04.07.2019).

7. Вікіпедія: Теорія міцності. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%97_%D0%BC%D1%96%D1%86%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96 (дата звертання 04.07.19).

8. Пристрій для лушення волоських горіхів: пат. на кор. модель 44033 Україна: МПК (2009): A23N 5/00 / Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Піддубний В. А., Павлов С. О.; власник НУХТ. № u200904941; заявл. 19.05.2009; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 17.

9. Пристрій для групового лушення волоських горіхів: пат. на кор. модель 48599 Україна: МПК (2009): A23N 5/00, A23N 7/00 / Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Піддубний В. А., Блаженко С. І., Шевченко А. О.; власник НУХТ. № u200910069; заявл. 05.10.2009; опубл. 25.03.2010, Бюл. № 6.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ ОБОЛОЧЕК ГРЕЦКИХ ОРЕХОВ

А. И. Украинец, Е. В. Негрей

Национальный университет пищевых технологий

В статье приведена информация, которая касается особенностей разрушения ореховых оболочек в условиях взаимодействия плодов с параллельными пластинами и при замене опорной пластины кольцом с фаской. Главная задача технологии состоит в получении как можно большего количества целых ядер орехов. Показано, что современные теории разрушения твердых материалов и тел практически не могут быть применены при описании процессов дробления оболочек орехов, как и теории прочности, изложенные в курсах сопротивления материалов. Задача сохранения формы и целостности ядер составляет основное противоречие технологии. В дальнейших исследованиях целесообразно углубить информацию о процессе шелушения в режимах объемных напряженных состояний, при которых существует возможность достичь значения реакций опорных плоскостей, превышающих внешнее силовое действие. В новых системах желательно достичь ограничений радиальных деформаций оболочек орехов.

Ключевые слова: грецкий орех, шелушение, разрушение оболочек, объемное напряженное состояние.