

PROCESSES OF SHELLING OF WALNUTS

A. Ukrainets, O. Negrey

National University of Food Technologies

Key words:

Walnuts
Peeling
Shell
Strain rate
humidity
Orientation
Force

Article history:

Received 14.05.2019
Received in revised form
06.06.2019
Accepted 20.06.2019

Corresponding author:

A. Ukrainets
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Fruits of walnuts have different geometric parameters, shape, thickness of the shell. These deviations along with the varietal characteristics lead to complications of peeling processes. The paper deals with the phenomenological analysis concerning the estimation of the parameters of influence on the interrelationship between force actions, their direction and the humidity of nuts on the values of deformations and their consequences for the destruction of shells and the release of fetal nuclei. Among the parameters of influence are an additional parameter — the rate of deformation, the results of determining the potential energy deformation of the shells of nuts and the power of deformation and energy influences are presented. The results of the research are represented by the relationships between the parameters of experiments based on the effects of humidity, loading speed and orientation of nuts relative to the direction of force.

It has been shown that the highest values of force, energy and power required for the breakdown of walnut, occur when the force is applied to the shell length, and, similarly, the smallest of these values occur when the load force is directed in width or in the walnut, and a specific deformation of the shell of the walnut grows with increasing loading speed, regardless of the humidity and the direction of loading. In addition, the specific deformation will increase with increased humidity (up to 21%), but the effect does not occur for further changes at higher levels.

It has been determined that increasing the loading speed increases the required energy of the fault and power and simultaneously reduces the power of split. In addition, at higher load rates (about 500 mm/min), specific deformation will also increase, which means greater flexibility of the shell of walnut. Flexible shell protects the core from destruction.

ПРОЦЕСИ ЛУЩЕННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

А. І. Українець, О. В. Негрей

Національний університет харчових технологій

Плоди волоських горіхів мають різні геометричні параметри, форму, товщину оболонки. Ці відхилення, поруч із сортовими особливостями, призводять до ускладнень процесів лущення. У статті здійснено феноменологічний аналіз, який стосується оцінок параметрів впливу на взаємозв'язки між силовими діями, їх спрямуванням і вологістю горіхів на величини деформацій та їх наслідків щодо руйнування оболонок і звільнення ядер плодів. До числа параметрів впливу віднесено додатковий параметр — швидкість здійснення деформації, представлено результати визначення потенціальної енергії деформації оболонок горіхів і потужності деформаційних та енергетичних впливів. Результати досліджень представлені співвідношеннями між параметрами експериментів на основі впливів вологості, швидкості навантаження та орієнтації горіхів відносно напрямку силової дії.

Показано, що найвищі значення сили, енергії та потужності, необхідні для розлому волоського горіха, виникають, коли сила прикладається по довжині оболонки і, аналогічно, найменші з цих значень мають місце, коли навантажувальна сила спрямована по ширині або по шву горіха, а специфічна деформація оболонки волоського горіха зростає при збільшенні швидкості навантаження незалежно від вологості та напрямку навантаження. Крім того, специфічна деформація збільшиться при підвищеній вологості (до 21%), але за подальших змін на більш високих рівнях ефект не відбувається.

Визначено, що збільшення швидкості навантаження збільшує необхідну енергію розлому і потужність та одночасно знижує силу розколу. При більш високих швидкостях навантаження (близько 500 мм/хв) специфічна деформація також збільшиться, що означає більшу гнучкість оболонки волоського горіха. Гнучка оболонка захищає ядро від руйнування.

Ключові слова: волоські горіхи, лущення, оболонка, швидкість деформації, вологість, орієнтація, силова дія.

Постановка проблеми. Лущення горіхів — це руйнування зовнішніх твердих оболонок і відокремлення ядер від їх залишків. При цьому в інтересах реалізації продукції найвищою цінністю є максимальна цілісність ядра, однак досягнення цього часто є проблематичним у зв'язку з наявністю певних механічних зв'язків внутрішніх перетинок з оболонкою. В результаті використання машинних технологій руйнування оболонки має місце ушкодження ядра подекуди в широкому діапазоні [3; 4]. У зв'язку з цим відокремлення ядра волоського горіха від оболонки є надзвичайно відповідальним і витратним завданням, яке у більшості випадків виконується в режимі ручної праці. Вказана ситуація є наслідком збігу об'єктивних особливостей, пов'язаних з властивостями горіхів різних сортів, їх розмірів і форми, товщиною і механічними властивостями оболонки, різними співвідношеннями між зов-

нішніми зусиллями, деформаціями, об'ємними напруженнями в оболонці, характером формування тріщин [13]. Лущення горіха також ускладнюється змінною геометрією оболонки як одного об'єкта, так і масиву та неізотропними механічними властивостями матеріалу оболонки.

Проте навіть для простих класичних умов навантажень теорія опору матеріалів оперує щонайменше п'ятьма теоріями міцності [13]. До них відносяться теорія найбільших нормальних напружень, найбільших відносних деформацій, найбільших дотичних напружень, енергетична теорія міцності тощо. За названих особливостей і ускладнень дослідники умов лущення змушені переходити до спеціальних заходів при визначенні умов міцності горіхових оболонок.

Феноменологічні узагальнення привели автори розробки [2], які звернули увагу на необхідність урахування швидкості стискання горіха, напрямку силової дії, розподілу останньої. При цьому можливими для контролю були силова дія, абсолютна деформація в напрямку силової дії, швидкість деформації, енергетичні витрати.

Дослідження виконувалися за значень вологості 9, 21 і 27%, швидкості — 50, 200 і 500 мм/хв і при трьох основних напрямках стискання — по довжині (X), ширині (Y) і по шву (Z). В результаті встановлено, що найбільшим значенням сили, енергії і потужності, необхідних для руйнування оболонки, відповідає випадок стискання по довжині, а найменшим — стискання по напрямках Z та Y . Помічено, що специфічна деформація оболонки збільшилася зі збільшенням швидкодії силового параметра за різних значень вологості і напрямку деформації. Остання порівняно збільшувалася за вологості 21%, але це збільшення не відбувалося при 27%. Проте значення деформації виявилися незалежними з їх напрямків. Збільшення навантаження за швидкості до 500 мм/хв приводило до збільшення специфічної деформації, що вказувало на зменшення жорсткості, в якому автори вбачали перспективу обмежень руйнувань ядер горіхів.

Відсутність технологічних розробок і надійного обладнання для лущення горіхів залишає розповсюдженою ручну працю [2].

Koynucu et al. (2004) [7] визначили впливи положення стиснення, середнього геометричного діаметра та товщини оболонки волоського горіха на силу, специфічну деформацію й енергію, необхідну для досягнення руйнування горіхової оболонки та вилучення ядра оптимальної якості. Вони виявили, що розтріскування горіхів в напрямку довжини вимагало меншої сили і давало кращу якість вилучення ядра.

Oloso і Clarke (1993) [10] провели квазістатичні стиснювальні випробування на обсмажених горіхах кеш'ю для дослідження впливу вологовмісткості попередньо пошкодженого зразка і напрямку навантаження розривної сили, енергії розлому та деформації розлому. Деформація розлому та енергія розлому зростають, а розривна сила зменшується зі збільшенням вмісту вологи.

Liu et al. (1999) [8] досліджували процес руйнування оболонки макадамії теоретично і чисельно та виявили, що вертикальна орієнтація була корисною для розтріскування оболонок горіхів, тоді як горизонтальна орієнтація мало корисна, якщо це тривало невеликий проміжок часу.

Braga et al. (1999) [3] досліджували силу стиснення, специфічну деформацію та енергію, необхідні для початкового розлому оболонки макадамії, як функції вологості, розмірів горіха та орієнтації стиснувального навантаження. Експерименти показали, що при цьому значення сили, специфічної деформації та енергії є мінімальними, незалежно від розмірів горіха та вологості оболонки.

Khazaei et al. (2002) [6] вивчали вплив швидкості навантаження, розмірів горіха та напрямку навантаження на силу, поглинуту енергію та необхідну потужність для лушення горіхів мигдалю за допомогою тестової машини Instron. Діапазон сили розриву, поглиненої енергії і необхідної потужності становив 139...1526 Н, 70...2093 мДж і 0,015...5,121 Вт відповідно. Швидкість навантаження мала значний вплив на силу розтріскування і необхідну потужність.

Güner et al. (2003) [5] вивчали вплив вологовмісткості, вибору осі навантаження та різноманітності сортів фундука на специфічну деформацію, силу розлому та енергію розлому, необхідну для досягнення початкового розлому при навантаженні. Вони виявили, що специфічна деформація та енергія розлому оболонки збільшуються зі збільшенням вмісту води, а сила розлому зменшується за стиснення по довжині та ширині плодів.

З огляду літературних джерел та з урахуванням положень теорії опору матеріалів і особливостей організації процесів лушення горіхів та інших плодів випливає висновок про існування, по-перше, залежності між навантаженнями об'єктів дослідження та їх деформаціями і, по-друге, критичної деформації, після якої починається руйнування оболонок. У загальній теорії такі висновки відповідають закону Гука, за яким існує відповідність між силовими діями і деформаціями. Разом з тим між силовими навантаженнями, деформаціями та енергетичними витратами існують залежності, які через швидкості здійснення деформацій призводять до оцінки потужностей. Очевидно, що організація деформацій і руйнувань в часі може бути різною, у зв'язку з чим рівень динамічних проявів може бути меншим або більшим. Однак з точки зору інтересів досягнення високої продуктивності технологічних машин оцінка систем і процесів є важливою. Отже, в подібній системі взаємодій факторами впливу виступають вологовміст горіха, швидкість навантаження об'єктів, їх орієнтація відносно напрямку силової дії та величина цієї сили. Роль функції відгуку належить деформації об'єкта, а енергія деформації і потужність виступають у ролі синергетиків силової дії і деформації.

Мета дослідження: оцінка впливів вологовмісту, швидкості навантаження і орієнтації горіха відносно напрямку силових дій на величину деформації, потенціальну енергію деформації і потужність, які відповідають початковим руйнуванням оболонок.

Матеріали і методи. В дослідженні використані горіхи з середнім геометричним діаметром 31...32 мм зі значеннями вмісту води 9, 21 і 27%. Вміст води визначався за рекомендаціями публікації [3]. Дослідження виконувалися на тестовій машині Instron з продовженням навантажень до руйнування оболонок при швидкостях деформацій 50, 200 і 500 мм/хв.

Реакція волоських горіхів мала місце в межах максимальної сили, необхідної для руйнування оболонок, специфічної деформації плодів, поглиненої енергії та потужності, необхідної для розлому. Значення сили розлому, по-

глиненої енергії, необхідної потужності та специфічної деформації були одержані з кожної кривої стиснення, отриманої на тестовій машині Instron. Поглинену енергію, як показано на рис. 1, визначали безпосередньо шляхом вимірювання площі під кривою сили деформації. Вимірювання проводили, застосовуючи цифровий планіметр з точністю $\pm 0,2\%$ [5].

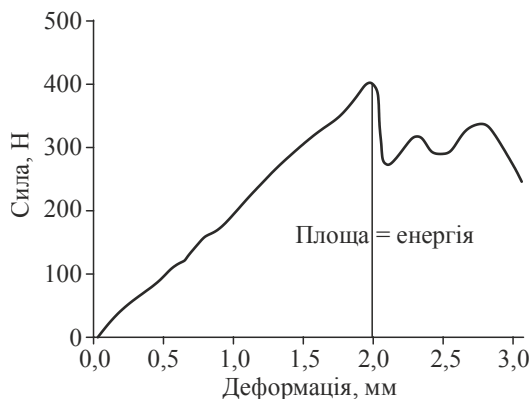


Рис. 1. Діаграма для визначення потенціальної енергії деформації оболонок горіхів

Значення відносної деформації визначалися залежністю:

$$\varepsilon = \frac{L_{(п)} - L_{(к)}}{L_{(п)}}, \quad (1)$$

де $L_{(п)}$ і $L_{(к)}$ — початковий і кінцевий розміри деформованого елемента в системі вимірів.

Значення потужностей розраховувалися залежністю:

$$P = \frac{EV}{60000\Delta\ell}, \text{ Вт}, \quad (2)$$

де E — потенціальна енергія деформації, мДж; V — швидкість навантаження, мм/хв.; $\Delta\ell$ — деформація елемента на початок руйнування оболонки, мм.

Система координат X , Y і Z (рис. 2) відображує три напрямки стискання.

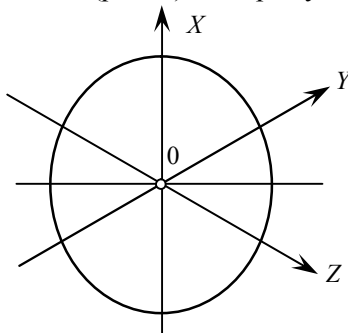


Рис. 2. Схематичне зображення осей горіха, які використовуються для орієнтування напрямків силових дій

Середній геометричний діаметр горіхів обчислювався рівнянням:

$$d_m = \sqrt[3]{LWT} \text{ , мм,} \quad (3)$$

де L , W і T — відповідно, довжина, ширина і товщина шва, мм.

Для кожного тесту було виконано чотири повторення. Тому в цьому дослідженні 108 горіхів були введені в машину Instron. Для трьох напрямків навантаження, трьох навантажувальних швидкостей і трьох значень вмісту вологи для експериментів було обрано повністю рандомізовану блокову конструкцію (факторну схему). Крім того, для того, щоб показати співвідношення між параметрами експерименту, дані групувалися на основі вмісту вологи, швидкості навантаження та напрямку навантаження.

Результати дослідження. Вплив швидкості навантаження та вологості на вимірювані параметри: сила руйнування, специфічна деформація, енергія та потужність, необхідні для розлому оболонки горіха, залежали від вологості та швидкості навантаження (таблиця, рис. 3).

Зі збільшенням швидкості навантаження сила руйнування знижувалася при 9 % вологості, тоді як при 21 і 27 % — збільшувалася спочатку, але зменшувалася з подальшим збільшенням швидкості навантаження (рис. 3а).

Таблиця. Порівняння середніх значень механічних властивостей волоського горіха, на які впливає напрямок навантаження, швидкість навантаження та вміст вологи

Параметр	Напрямок навантаження			Швидкість навантаження (мм/хв)			Вміст вологи, К		
	D _X	D _Y	D _Z	50	200	500	9	21	27
Сила розлому, Н	499,20 a	424,70 b	270,40 c	399,40 ab	428,10 a	366,90 b	388,90 a	424,40 a	381,10 a
Специфічна деформація, мм/мм	0,05 a	0,06 a	0,06 a	0,03 c	0,05 b	0,08 a	0,05 b	0,06 a	0,06 a
Енергія розлому, мДж	534,90 a	383,10 b	318,90 b	251,2 b	459,00 a	526,60 a	303,70 b	484,00 a	449,20 a
Потужність розлому (Вт)	1,01 a	0,8 5b	0,70 c	0,19 c	0,81 b	1,57 a	0,72 b	0,95 a	0,89 a

Примітка: значення, передані різними літерами, суттєво відрізняються ($\alpha = 0,05$).

Найбільша сила (797 Н) була зареєстрована при 21 % вологості і 200 мм/хв швидкості навантаження в напрямку X (не показано на рис. 3а). Дисперсійний аналіз показав відсутність суттєвих відмінностей між трьома рівнями вологості. Специфічна деформація лінійно залежить від швидкості навантаження при всіх трьох показниках вологості. Питома деформація також зростала при збільшенні рівня вологості; однак порівняння середніх значень показало, що це збільшення не було значним між двома більш високими рівнями вологості (рис. 3б, табл. 1). Oloso і Clarke [10] стосовно горіхів кеш'ю і Güner et al. [5] стосовно лісового горіха повідомляли про подібні результати.

Необхідна енергія для руйнування оболонки волоського горіха збільшувалася з підвищенням швидкості навантаження до 200 мм/хв, але при подаль-

шому збільшенні ця зміна була незначною (рис. 3в). Вміст вологи оболонки суттєво вплинув на енергію розколу, що відповідає висновкам Altuntaşand Yıldız [1] для квасолі. Однак у нашому експерименті при рівнях вологості вище 21% цей ефект був незначним. Подібно до необхідної сили руйнування тут знову потрібна найбільша необхідна енергія — 952 мДж при 21% вмісту вологи, 200 мм/хв швидкості навантаження і в напрямку дії сили X .

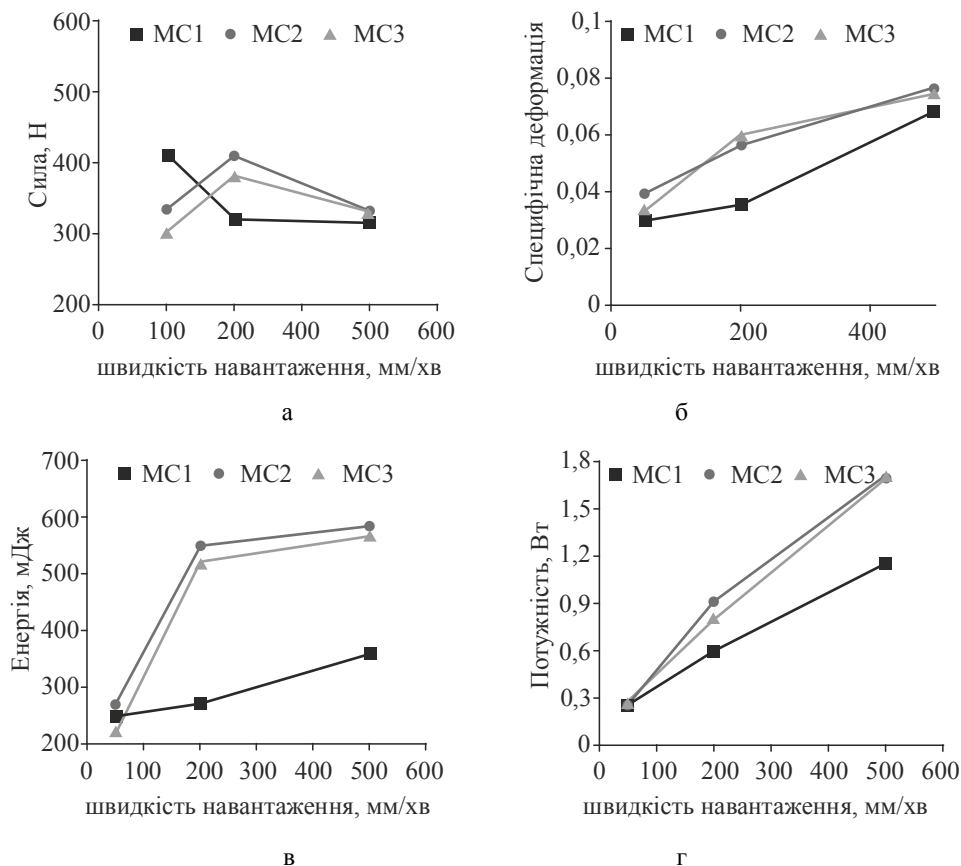


Рис. 3. Вплив швидкості навантаження на вимірювану силу руйнування (а), специфічну деформацію (б), енергію (в) і потужність (г) при 9 (MC1), 21(MC2) і 27% (MC3) вологості

На рис. 3г показано, що необхідна потужність для руйнування волоського горіха значно зростає при збільшенні швидкості навантаження, незалежно від вологості оболонки. Khazaei et al. [6] повідомляли про подібні результати для мигдалю. Необхідна потужність також зростала, оскільки вологість збільшувалася до 21%, але не змінилася пізніше. Найбільша потужність (1,94 Вт) була розрахована при 500 мм/хв швидкості навантаження, 21% вмісту вологи при застосуванні сили в напрямку X .

Вплив швидкості навантаження і напрямку навантаження на вимірювані параметри: сила розтріскування, специфічна деформація, енергія та потуж-

ність, необхідні для розлому оболонки волоського горіха, залежали від швидкості навантаження та напрямку навантаження (табл. 1, рис. 4). Dursun [4] також виявив мінімальну силу розлому горіха в напрямку лінії шва, але максимальна сила розлому прикладалася по ширині горіха.

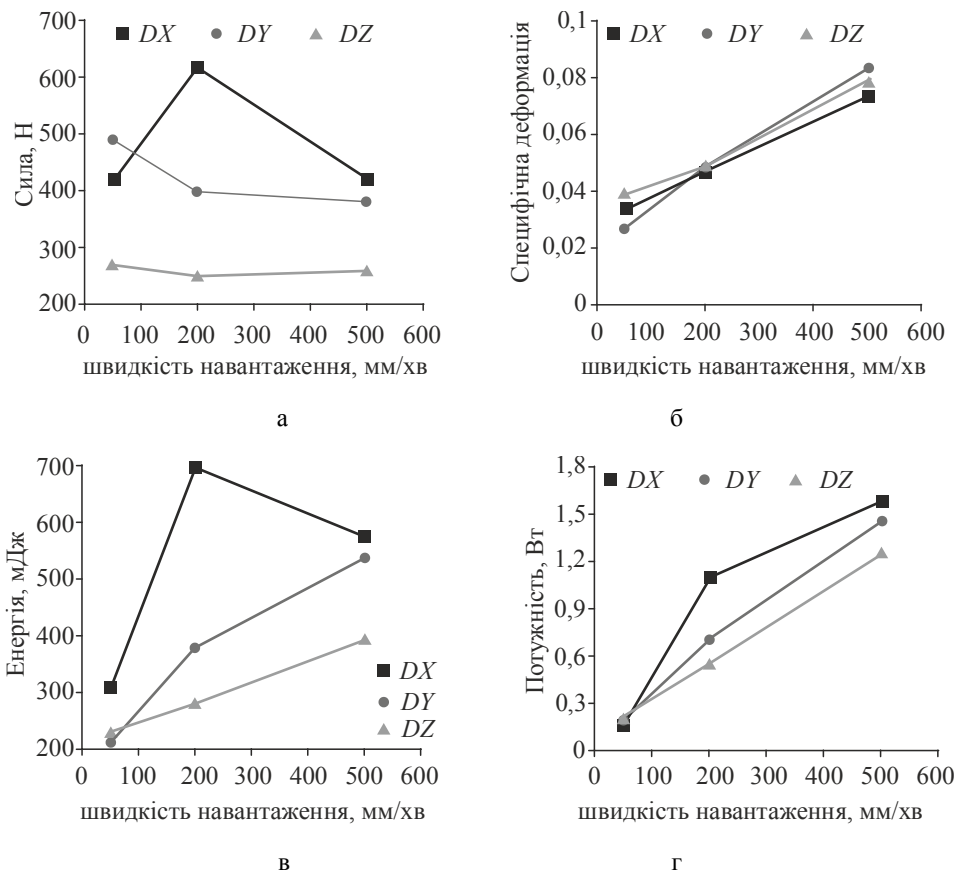


Рис. 4. Вплив швидкості навантаження на вимірювану силу руйнування (а), специфічну деформацію (б), енергію (в) і потужність (г) у трьох різних напрямках навантаження: по довжині (DX), ширині (DY) і у напрямку шва (DZ) волоського горіха

На рис. 4б показано, що специфічна деформація лінійно залежить від швидкості навантаження на всіх трьох напрямках навантаження. Однак навантажувальний напрямок не мав значного впливу на специфічну деформацію волоського горіха. Отримані результати відповідають результатам Коунци et al. [7]. Однак найвища специфічна деформація оболонки волоського горіха перед розломом ($0,1 \text{ мм}^{-1}$) була очевидною при 21% вмісту вологи, 500 мм/хв швидкості навантаження і коли сила застосовувалася в напрямку шовної лінії.

Навантаження в напрямку довжини (DX) вимагало найвищої енергії розлому (рис. 4с), що відповідає результатам Vursavuşand Özgüven [12] для

кісточки абрикоса. Необхідна потужність розлому була найвищою, коли навантаження застосовувалося в напрямку довжини і зменшувалося шляхом зміни напрямку навантаження у напрямки Y і Z відповідно (рис. 4г).

Висновки

У результаті феноменологічних та експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Найвищі значення сили, енергії та потужності, необхідні для розлому волоського горіха, виникають, коли сила прикладається по довжині оболонки і, аналогічно, найменші з цих значень мають місце, коли навантажувальна сила спрямована по ширині або по шву горіха.

2. Специфічна деформація оболонки волоського горіха зростає при збільшенні швидкості навантаження, незалежно від вологості та напрямку навантаження. Крім того, специфічна деформація збільшиться при підвищеній вологості (до 21%), але за подальших змін на більш високих рівнях ефект не відбувається.

3. Специфічна деформація виявилася однаковою на всіх напрямках навантаження. Це свідчить про те, що немає необхідності контролювати прикладену спрямованість сили на горіх, коли плоди мають однаковий розмір, що значно спрощує конструкцію технологічної машини для лушення.

4. Збільшення швидкості навантаження збільшує необхідну енергію розлому і потужність та одночасно знижує силу розколу. Крім того, при більш високих швидкостях навантаження (близько 500 мм/хв) специфічна деформація також збільшиться, що означає більшу гнучкість оболонки волоського горіха. Гнучка оболонка захищає ядро від руйнування.

5. В інтересах подальшого розвитку технологій лушення горіхів подальший напрямок експериментальних і теоретичних досліджень доцільно поєднати з дослідженнями плоских і об'ємних напружених станів.

Література

1. Altuntas E. and Yildiz M. (2007). Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. *J. Food Eng.*, 78: 174—183.
2. Borghei A. M., Tavakoli T. and Khazaei J. (2000). Design, construction and testing of walnut cracker. *Proceedings of European. Agricultural Engineering Conference*, Warwick University, England.
3. Braga G. C., Hara T., Couto S. M. and Neto J.T.P.A. (1999). Mechanical behavior of macadamia nut under compression loading. *J. Agric. Eng. Res.*, 72: 239—245.
4. Dursun I. G. (1997). Determination of the shelling resistance of some products under the point load. *Proceedings of the International Agricultural Mechanization Conference*. Tokat, Turkey.
5. Güner M., Dursun E. and Dursun I.G. (2003). Mechanical behaviour of hazelnut under compression loading. *Biosyst. Eng.*, 85: 485—491.
6. Khazaei J., Rasekh M. and Borghei A.M. (2002). Physical and mechanical properties of almond and its kernel related to cracking and peeling. *Proceedings of the ASAE Annual International Meeting*, July 28-31, 2002, Chicago, Illinois, USA., pp: 1—1.
7. Koyuncu M. A., Ekinçi K. and Savran E. (2004). Cracking characteristics of walnut. *Biosyst. Eng.*, 87: 305—311.

8. Liu R., Wang C.H. and Bathgate R.G. (1999). Fracture analysis of cracked macadamia nutshells under contact load between two rigid plates. *J. Agric. Eng. Res.*, 74: 243—250.
9. Mohsenin, N.N., 1970. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. 1st Edn., Gordon and Breach Science Publishers, New York, USA.
10. Oloso A.O. and Clarke B. (1993). Some aspects of strength properties of cashew nuts. *J. Agric. Eng. Res.*, 55: 27—43.
11. Statistical Year Book, 2005. Farm and Orchard Products. Vol. 1, Ministry of Jihad Agriculture, Islamic Republic of Iran, Iran.
12. Vursavu K. and Özgüven F. (2004). Mechanical behavior of apricot pit under compression loading. *J. Food Eng.*, 65: 255—261.
13. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Нукова думка, 1988. 736 с.