

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗДАВЛИВАНИЯ СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

Виктор Шевчук

*Львовский национальный аграрный университет
Ул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: shevtyk@meta.ua*

Viktor Shevchuk

*Lviv National Agrarian University
St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: shevtyk@meta.ua*

Аннотация. Разработаны модели, описывающие условия сжатия и раздавливания семян эллипсоидной формы, и получены зависимости от силы сжатия таких параметров, как деформация семян и максимальное давление на них. Исходя из полученных зависимостей, значение силы $P_{с.р}$ разрушения семян составляет 23,5 Н; деформация разрушения $\Delta_{н.р}$ 0,295 мм. Давление $q_{о.р}$, при котором происходит разрушение эллипсоидных семян 33,38 Н/мм².

Полученные теоретические зависимости позволяют рационализировать режимы работы машин для раздавливания семян перед отжимом масла, обеспечивая дальнейшим максимальный выход масла при минимальных энергозатратах, в частности, позволяют установить необходимый зазор между валками, при котором происходит раздавливания семян, но отсутствует появление масла на их поверхности.

Ключевые слова: плющилка семян, масличные культуры, устройство для исследования семян на сжатие, усилие разрушения, деформация разрушения, деформация масловыделения, зазор, частота вращения, диаметр валков.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Измельчения семян – одна из основных технологических операций процесса получения масла, от которой зависят его выход и качество [2, 3, 13-22]. Проблема совершенствования машин для раздавливания ядра масличных культур и создание технологических линий малой производительности приобретает для Украины существенного значения и актуальности, поскольку современные способы и средства раздавливания семян недостаточно эффективны и требуют дальнейшего исследования и совершенствования [1].

Согласно исследованиям Я.Н. Куприца и С.Д. Хусида процесс измельчения разделяется на три фазы [3; 4]:

- упругая деформация, которая протекает с начала действия приложенной силы на измельчаемый материал до достижения предела упругости и сопровождается уплотнением и сжатием структурных агрегатов семян;

- пластическая деформация, наступает с момента начала сдвига отдельных элементов материала относительно друг друга и характеризуется относительным смещением структурных агрегатов ядра

семян, в результате чего материал уплотняется и плющится;

- разрушение материала с образованием свободной поверхности частиц.

Теоретическому обоснованию подлежит основной параметр процесса плющения семян – нормальное давление q , что приводит к деформации, при которой давление на семена превышает их предел прочности, но отсутствует появление масла на поверхности раскрытых семян. Это предотвращает потери масла и загрязнения валков, особенно, высыхающими маслами.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализируя теоретические исследования процесса измельчения семян масличных культур перед отжимом масла [2, 3, 13-22], стоит отметить, что известные исследования направлены на определение: условия захвата семян между валками; диаметра валков; давления, необходимого для измельчения семян. Однако, отсутствуют математические исследования раздавливания эллипсоидных семян масличных культур. Эти исследования, в дальнейшем позволят рационализировать режимы работы машины для раздавливания семян перед отжимом масла, тем самым обеспечивая максимальный выход масла при минимальных энергозатратах. В частности, позволяют установить необходимый зазор между валками, при котором происходит раздавливания семян, но отсутствует появление масла на их поверхности.

Поэтому, возникает необходимость установить математическую модель раздавливания эллипсоидных семян масличных культур.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Получить математическую модель раздавливания семян масличных культур, а также зависимости от силы P_c сжатия семян таких параметров, как деформация $\Delta_n = f_1(P_c)$, максимальное давление $q_o = f_2(P_c)$ и полуоси плоскости контакта $a, b = f_3(P_c)$.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Предположим, что семя льна (рис. 1) находится между двумя стальными пластинами, нижняя из ко-

торых неподвижна, а на верхнюю, подвижную, действует сила P_c .

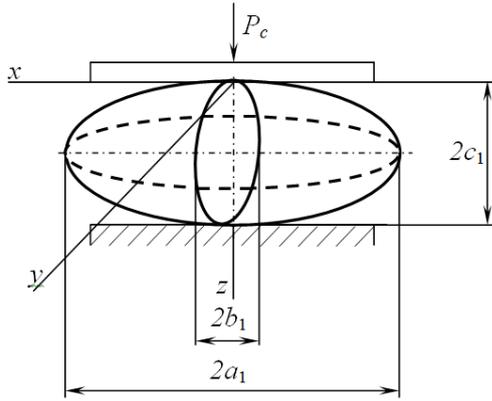


Рис. 1. Схема нагрузки эллипсоидной семени
Fig. 1. Scheme of load of ellipsoidal seed

Семя льна имеет форму эллипсоида с полуосями a_1, b_1, c_1 (причем $a_1 \geq b_1 \geq c_1$). Если начало системы координат выбрать в точке контакта, то уравнение поверхности эллипсоида у этой точки можно представить в виде:

$$z = Ax^2 + By^2, \quad (1)$$

$$\text{где: } A = \frac{c_1}{2a_1^2}, \quad B = \frac{c_1}{2b_1^2}.$$

Под действием силы P_c между пластинами и эллипсоидом возникают плоскости контакта, которые имеют форму эллипса с полуосями a и b .

Согласно теории Герца [5] на плоскости контакта возникает давление, которое распределяется по закону:

$$q(x, y) = q_o \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}, \quad (2)$$

где: q_o – максимальное значение давления в центре плоскости контакта.

$$\begin{cases} Aa^2 = (k_1 + k_2) \frac{3P}{4} \left(\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^1 d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho d\rho}{\sqrt{a^2(\rho \cos \varphi - 1)^2 + \rho^2 b^2 \sin^2 \varphi}} \right); \\ Bb^2 = (k_1 + k_2) \frac{3P}{4} \left(\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^1 d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho d\rho}{\sqrt{\rho^2 a^2 \cos^2 \varphi + b^2(\rho \sin \varphi - 1)^2}} \right). \end{cases} \quad (8)$$

Подадим a и b в виде:

$$\begin{cases} a = m \cdot \sqrt[3]{\frac{3\pi P(k_1 + k_2)}{4(A+B)}}; \\ b = n \cdot \sqrt[3]{\frac{3\pi P(k_1 + k_2)}{4(A+B)}}. \end{cases} \quad (9)$$

Подставив (9) в (8), получим систему нелинейных уравнений относительно коэффициентов m и n :

$$\begin{cases} m^2 = \frac{A+B}{\pi A} \left(\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{m^2 \cos^2 \varphi + n^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^1 d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho d\rho}{\sqrt{m^2(\rho \cos \varphi - 1)^2 + \rho^2 n^2 \sin^2 \varphi}} \right); \\ n^2 = \frac{A+B}{\pi B} \left(\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{m^2 \cos^2 \varphi + n^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^1 d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho \cdot d\rho}{\sqrt{\rho^2 m^2 \cos^2 \varphi + n^2(\rho \sin \varphi - 1)^2}} \right). \end{cases} \quad (10)$$

Значение q_o можно найти из уравнения равновесия:

$$P = \iint_{A_o} q(x, y) dx \cdot dy, \quad (3)$$

где: A_o – площадь участка контакта.

Интеграл (3) легко вычислить, сделав замену переменных: $x = a\rho \cos \varphi$, $y = b\rho \sin \varphi$, $dx dy = ab\rho d\rho d\varphi$, где $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, $0 \leq \rho \leq 1$.

Тогда:

$$\begin{aligned} P &= q_o a \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^1 \rho \sqrt{1-\rho^2} d\rho = \\ &= q_o ab \int_0^{2\pi} \left(-\frac{1}{2} \frac{3}{2} (1-\rho^2)^{\frac{3}{2}} \right) = q_o ab 2\pi \frac{1}{3}, \end{aligned} \quad (4)$$

или:

$$q_o = \frac{3}{2} \frac{P}{\pi ab}. \quad (5)$$

Согласно теории Герца [5] для произвольной точки плоскости контакта должен выполняться равенство:

$$(k_1 + k_2) \iint_{A_o} \frac{q(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\sqrt{(\xi-x)^2 + (\eta-y)^2}} = \Delta_n - Ax^2 - By^2; \quad x, y \in A_o \quad (6)$$

где: Δ_n – сближение пластин, или деформация семян, имеющих форму эллипсоида; k_1, k_2 – соответственно характеристики семян масличных культур и материала пластины, $\text{мм}^2/\text{Н}$.

Подставив в уравнение (6) $x = 0$, $y = 0$, учитывая (5) и сделав замену переменных, получим формулу для нахождения Δ_n :

$$\Delta_n = (k_1 + k_2) \frac{3P}{4} \int_0^\pi \frac{d\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (7)$$

Далее подставим в уравнение (6) один раз $x = a$, $y = 0$, а второй – $x = 0$, $y = b$, в результате получим систему уравнений:

Эта система уравнений решается при таких геометрических параметрах семян: $a_1 = 2,22$ мм; $b_1 = 1,13$ мм; $c_1 = 0,46$ мм [23, 24].

Решив систему уравнений (10), получим следующие значения коэффициентов: $m = 1,2250$, $n = 0,8234$, $s = 3,0976$, где s выражается через полный эллиптический интеграл:

$$s = \frac{2}{m} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - \frac{m^2 - n^2}{m^2} \sin^2 \varphi}}. \quad (11)$$

Тогда, учитывая (9) и полученные значения коэффициентов, формула (7) будет иметь вид:

$$\Delta_n = s^3 \sqrt{\frac{9(A+B) \cdot P^2 \cdot (k_1 + k_2)}{16\pi}}. \quad (12)$$

Отсюда получим:

$$k_1 = \frac{4}{3P} \sqrt{\frac{\pi}{A+B} \left(\frac{\Delta}{s}\right)^3} - k_2, \quad (13)$$

а потом можно найти и модуль Юнга E_n для семян льна:

$$E_n = \frac{1 - \mu_1^2}{\pi \cdot k_1}. \quad (14)$$

Учитывая систему уравнений (9), можно записать конечную формулу для определения максимального давления:

$$q_o = \frac{3}{2\pi m} \sqrt[3]{\frac{16(A+B)^2 P}{9\pi^2 (k_1 + k_2)^2}}. \quad (15)$$

Решив уравнение (12), (15) численным методом и реализовав их в среде MATLAB 7.11.0, получено теоретические зависимости от силы P_c сжатия семян таких параметров, как деформация $\Delta_n = f_1(P_c)$, максимальное давление $q_o = f_2(P_c)$ и полуоси плоскости контакта $a, b = f_3(P_c)$.

На рис. 2. приведена теоретическая зависимость давления в центре плоскости контакта q_o от силы сжатия P_c семян льна масличного.

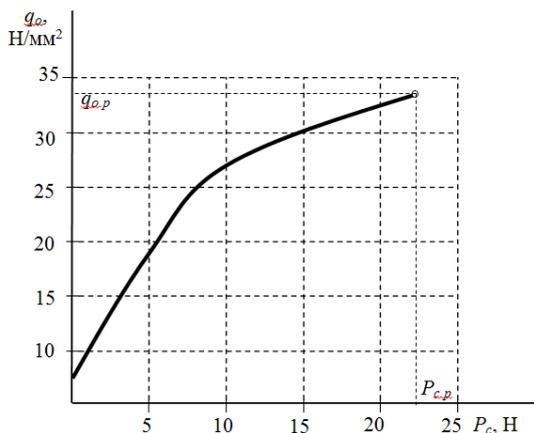


Рис. 2. Зависимость давления в центре плоскости контакта q_o от силы сжатия P_c семян льна масличного

Fig. 2. The dependence of the pressure in the center of the q_o contact plane from the P_c compression force of linseed seed

Крайняя правая точка кривой (рис. 2.) соответствует значению давления, при котором происходит раздавливания семян. Для льна масличного давление раздавливания $q_{o,p}$ составляет 33,38 Н/мм², что соответствует силе $P_{c,p}$ сжатия 23,5 Н.

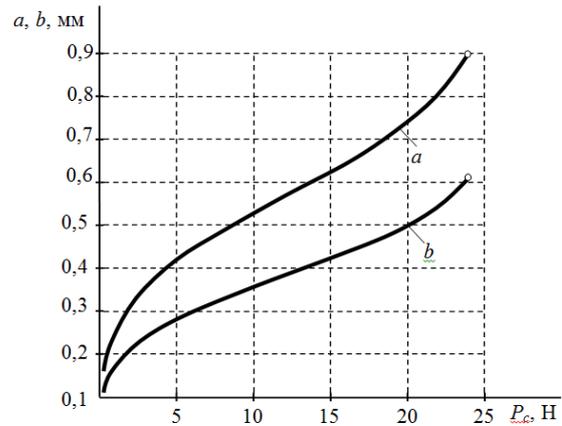


Рис. 3. Зависимости значений полуосей a и b плоскости контакта от силы сжатия P_c семян льна масличного

Fig. 3. The dependences of a and b semiaxes values of the contact plane from the P_c compression force of linseed seed

Кривые a и b (рис. 3) отражают зависимость от силы сжатия P_c семян, имеющих форму эллипсоида, таких параметров, как полуоси плоскости контакта семян. Согласно условию раздавливания для льна масличного значения a и b составляет 0,89 и 0,6 мм.

На рис. 4 указана теоретическая зависимость силы сжатия P_c от деформации Δ_n семян, которые имеют форму эллипсоида, а именно – льна масличного.

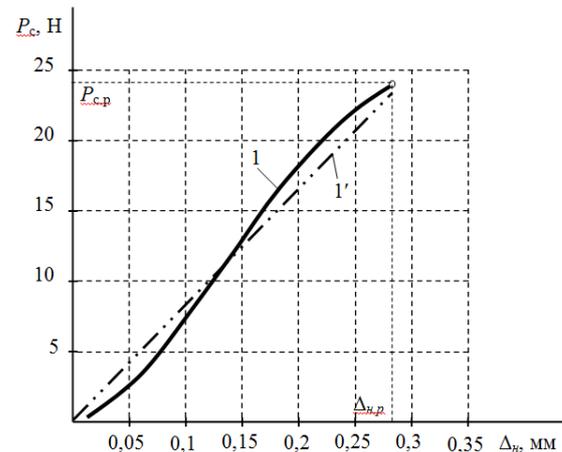


Рис. 4. Зависимость (1) силы сжатия P_c от деформации Δ_n семян льна масличного; (1' – линейризована зависимость)

Fig. 4. The dependence (1) of the P_c compression force from the Δ_n deformation of seed of linseed (1' – linearized dependence)

Зависимость (рис. 4) позволяет определить влияние деформации, при которой давление на

семена превышает их предел прочности, что в свою очередь приводит к раздавливанию семян.

Деформация раздавливания семян льна масличного составляет 0,295 мм и соответствует силе 23,5 Н.

Полученные теоретические зависимости позволяют рационализировать режимы работы машины для раздавливания семян перед отжимом масла, обеспечивая дальнейшим максимальный выход масла при минимальных энергозатратах, в частности, позволяют установить необходимый зазор между валками, при котором происходит раздавливание семян, но отсутствует появление масла на их поверхности.

ВЫВОДЫ

1. Решив уравнение (12-15) численным методом и реализовав их в программе MATLAB 7.11.0, получена модель процесса деформирования эллипсоидных семян, а также зависимости от силы P_c сжатия семян таких параметров, как деформация $\Delta_n = f_1(P_c)$, максимальное давление $q_o = f_2(P_c)$ и полуоси плоскости контакта $a, b = f_3(P_c)$.

2. Полученны значения деформации, максимального давления и полуосей плоскости контакта семян масличных культур при сжатии, позволяют рационализировать режимы работы машины для разрушения семян перед отжимом масла, обеспечивая максимальный выход масла при минимальных энергозатратах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Белобородов В.В. 1966.** Основные процессы производства растительных масел / В.В. Белобородов. – М.: Пищевая промышленность. – 475.
2. **Масликов В.А. 1965.** Поведение подсолнечного ядра при разрушении / В.А. Масликов, В.С. Сескутов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – №4 1965. 85-89.
3. **Хусид С.Д. 1958.** Измельчение зерна. / С.Д. Хусид. – М.: Хлебоиздат. – 450.
4. **Куприц Я.Н. 1946.** Физико-химические основы размола зерна. / Я.Н. Куприц. – М.: Заготиздат – 206.
5. **Тимошенко С.П. 1975.** Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Из-во «Наука». – 575.
6. **Медведовский А.К. 1988.** Энергетический анализ интенсивных технологий в сельскохозяйственном производстве. / А.К. Медведовский, П.И. Иваненко. – К.: Урожай. – 208. (Украина).
7. **Одегов В.А. 2005.** Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна: Диссертация. – Киров. – 187.
8. **Патент 47045, МПК (2009) B02B 3/00.** Плющилка семян масличных культур / Р.С. Шевчук, В.В. Шевчук. – № u200908648; заявка 17.09.2009; опубл. 11.01.2010, Бюл.№1. (Украина).
9. **Патент 46649, МПК (2009) B02B 3/00.** Валковая дробилка / Р.С. Шевчук, В.В. Шевчук. – № u200910148; заявка 06.10.2009; опубл. 11.05.2010, Бюл.№9. (Украина).
10. Ученые Львовского национального аграрного университета производству: каталог инновационных разработок ЛНАУ / Под. ред. В.В. Снитинского, В.И. Лопушняка. Вып. 11. – Львов: Львов. нац. аграр. ун-т, 2011. – 29. (Украина).
11. **Патент 46649, МПК (2009) B30B 9/12.** Шнековый пресс для отжима масла / Р.С. Шевчук, В.В. Томьук. – № u200800120; заявка 02.01.2008; опубл. 10.04.2008, Бюл.№7. (Украина).
12. Ученые Львовского национального аграрного университета производству: каталог инновационных разработок ЛНАУ / Под. ред. В.В. Снитинского, В.И. Лопушняка. Вып. 11. – Львов: Львов. нац. аграр. ун-т, 2011. – 26. (Украина).
13. **Масликов В.А. 1974.** Технологическое оборудование производства растительных масел. / В.А. Масликов. – М.: Пищ. Промышленность. – 220.
14. **Голдовский А.М. 1958.** Теоретические основы производства растительных масел. / А.М. Голдовский. – М.: Пищепромиздат. – 446.
15. **Дацишин О.В. 2009.** Технологическое оборудование зерноперерабатывающих и масличных производств: Учеб. пособие / О.В. Дацишин, А.И. Ткачук, О.В. Гвоздев, Ф.Ю. Ялпачик, В.О. Гвоздев. За ред. О.В. Дацишина. – Винница: Новая Книга, – 488. (Украина).
16. **Клуманцев Б.В. 1990.** Дробилки: конструкция и расчет, особенности эксплуатации. / Б.В. Клуманцев, А.И. Косарев. – М.: Машиностроение. – 319.
17. **Гулый И.С. 2001.** Оборудование предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности / И.С. Гулый, М.М. Пушанко, Л.А. Орлов и др. – Винница: Новая книга. – 576.
18. **Малежик И.Ф. 2003.** Процессы и аппараты пищевых производств: Учебник / И.Ф. Малежик, П.С. Циганко, П. М. Немирович, А.С. Марценюк. – М.: НУХТ, – 400. (Украина).
19. **Черевко А.И. 2002.** Процессы и аппараты пищевых производств: Учебник / А.И. Черевко, А.М. Поперечного. – Харьков.: Харьк. гос. акад. технол. и орг. питания, – 420. (Украина).
20. **Липатов Н.Н. 1987.** Процессы и аппараты пищевых производств. / Н.Н. Липатов. – М.: Экономика, – 272.
21. **Антипов С.Т. 2001.** Машины и аппараты пищевых производств. Кн.1. / С.Т. Антипов, И.Т. Крестов, А.Н. Остриков, В.А. Панфилов, О.А. Ураков. – М.: Высшая школа, – 703.
22. **Шевчук В.В. 2011.** Энергетическая оценка использования вальцовой плющилки семян масличных культур / В.В. Шевчук // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Volume 13D. – Lublin – 31–36.
23. **Шевчук В.В. 2011.** Исследование механико-технологических свойств семян масличных культур / В.В. Шевчук // Сельскохозяйственные машины – Вып. 21, том II. – Луцьк: Ред.-изд. отдел ЛНТУ, – 229–237. (Украина).

24. **Шевчук Р.С. 2011.** Механические свойства семян масличных культур при сжатии / Р.С. Шевчук, В.В. Шевчук // Вестник Львовского национального аграрного университета: Агроинженерный исследования. – №15. –257-264. (Украина).

MATHEMATICAL MODEL OF SEEDS CRUSH OF OIL-BEARING CROPS

Summary. The models that describe the conditions of compression and crushing of seeds of ellipsoid shape are worked out and dependences of parameters of seeds deformation and maximum pressure on seed from the strength of compression are got. The value of $P_{c.p.}$ forces of destruction seeds is 23,5 Н; the $\Delta_{н.р.}$ defor-

mation destruction is 0,295 mm – these parameters are based on the obtained dependencies. The $q_{o.p.}$ pressure of the failure of ellipsoid seeds is 33,38 Н/мм².

The theoretical dependences allow rationalizing the operational modes of machines for seeds crushing before oil extraction and ensure the maximum output with minimum energy consumption. In particular, theoretical dependences allow setting the desired gap between the rolls, at which the seeds are crushed but the oil are not on the surface yet.

Key words: seeds crushing machine, oilseeds, a device for seeds compression research, force of destruction, destruction deformation, oil allotment deformation, gap, roll diameter, speed.