

УДК 631.3:635.1/6

**ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПОДРІБНЕННЯ  
НАСІННИКІВ ГАРБУЗОВИХ КУЛЬТУР  
З ТОЧКИ ЗОРУ РЕОЛОГІЧНОЇ ТЕОРІЇ**

*С.І.Пастушенко, доктор технічних наук*

*П.М.Домчук, асистент*

*Миколаївський державний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Однією з провідних культур на Півдні України є гарбузові культури. В колишньому СРСР площі під вирощування гарбузових культур (огірки, дині, кавуни) відводилось більше ніж 850 тис.га, а валовий збір перевищував 15 млн.

тонн. Це було пов'язано з тим, що в ті роки була завершена концентрація виробництва в спеціалізованих господарствах. В даний час площі під цими культурами знизилися в 11...12 разів.

Створення високопродуктивного обладнання, яке за своїм технічним рівнем відповідає сучасним вимогам, неможливе без теоретичного аналізу технологічного процесу виділення насіння з насінневих плодів. Тому дослідження, направлені на поліпшення показників якості виконання технологічної операції подрібнення насінневих плодів, як найбільш важливої в процесі отримання насіння, з погляду складності виконання і впливу на кінцеві результати ефективності виробництва, є актуальною.

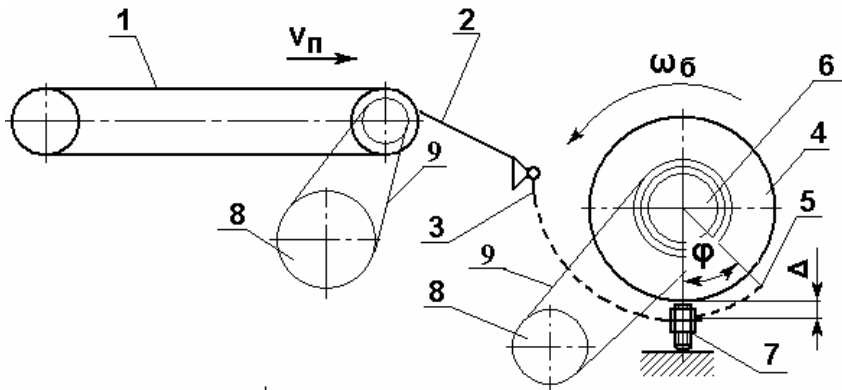
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз обстежених літературних джерел показав відсутність досліджень з питання проходження технологічного процесу виділення насіння з плодів гарбузових культур з врахуванням усіх параметрів подрібненої маси [1]. Проводились окремі дослідження взаємодії робочих органів подрібнювача на насінневий плід в момент подрібнення, тобто з використанням класичної теоретичної механіки [2]. Але після проходження процесу подрібнення насінневого плоду отримується неоднорідна маса, яка також взаємодіє з робочими органами подрібнювача. Вивчення даного питання і є однією з цілей даних досліджень.

**Визначення невирішених проблем.** Для вирішення поставлених проблем на факультеті механізації сільського господарства Миколаївського державного аграрного університету було виготовлено експериментальну установку для отримання насіння гарбузових культур (рис. 1).

**Обґрунтування отриманих результатів.** Як показав проведений аналіз, весь процес виділення насіння з плодів можна розбити на декілька етапів:

- на першій стадії відбувається затиснення насінневого плоду між барабаном і декою, його деформація і роздавлювання;
- на другій стадії здійснюється затягнення роздавленого плоду і його елементів в зазор “барабан — підбарабання” і переміщення подрібненої маси вздовж осі барабану;

- третя стадія — сепарація насіння крізь отвори деки під час руху продукції в технологічній зоні подрібнювача;
- на заключній четвертій стадії відбувається видалення кірки з робочої зони.



**Рис.1. Технологічна схема експериментальної установки для отримання насіння гарбузових культур:**

- 1 – стрічковий транспортер; 2 – завантажувальний лоток; 3 – дека;  
 4 – подрібнюючий барабан; 5 – додаткове підбарабання; 6 – ведений вал;  
 7 – гвинтовий механізм; 8 – зірка привода; 9 – ланцюгова передача

Для обґрунтування конструктивних і кінематичних режимів подрібнювально-сепарувального пристрою необхідно провести теоретичний аналіз руху продукції на кожному з етапів технологічного процесу.

Розглядаючи проходження технологічного процесу подрібнення насінневих плодів та поведінку продукції в технологічній зоні з точки зору реологічної теорії [3], нам необхідно в'яснити, діям якого закону відповідає проходження технологічного процесу подрібнення насінників.

Після виконання умови захвату плоду та його подрібнення, ми робимо допущення, що продукт, який знаходиться в технологічній зоні, являє собою пластично-в'язке тіло (тіло Бінгема) [4].

Модель тіла Бінгема (рис. 2, в), відповідає структурній формулі:

$$B = N - St.V, \quad (1)$$

де  $N$  – тіло Ньютона (рідина);

$St.V$  – тіло Сен-Венана (пластично-тверде тіло).

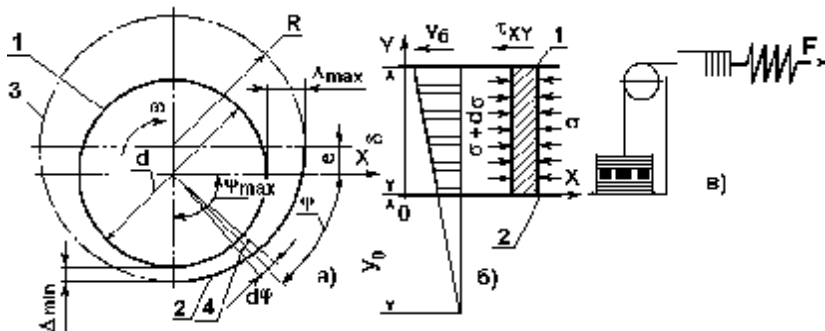


Рис.2. Розрахункова схема подрібнювально-сепарувального пристрою:

1 – внутрішній циліндр (барабан); 2 – дека;

3 – зовнішній циліндр; 4 – елементарно мала ділянка

Розглянемо два коаксiальнi цилiндри (барабан i дека) (рис. 2, а), один з яких обертається. Причому цилiндри розташованi ексцентрисично один до одного, а величина ексцентриситету дорiвнює  $e$ .

Подрiбнена маса перемiщується i одночасно деформується в зазорi, утвореному цилiндричною поверхнею барабана з рiдiусом  $r_6 = d/2$  i деки з рiдiусом  $R$ . Очевидно, що максимальна i мiнiмальна величина зазору в технологiчнiй зонi дорiвнюють:

$$\begin{aligned} \hat{1} D_{max} &= R - d/2 \\ \hat{1} D_{min} &= R - d/2 - e \end{aligned} \quad (2)$$

Для бiнгамова тiла було постульовано реологiчне рiвняння

$$t = t_m + h_{nl} \frac{\dot{\gamma}}{g} \quad (3)$$

Рiвняння мiстить два коефiцiєнти: межу текучостi  $t_m$  i пластичну в'язкiсть  $h_{nl}$ .

Для ротаційного циліндра застосовується рівняння ньютонівської рідини

$$\tau = hG, \quad (4)$$

де  $G$  — швидкість зсуву подрібненої маси.

Виходячи з рівності

$$G = r \frac{dw}{dr}, \quad (5)$$

і застосовуючи рівняння рівноваги  $\dot{a}M = 0$  для тіл обертання отримуємо

$$\tau = \frac{M}{2r^2 \rho l}. \quad (6)$$

Шляхом подальшого інтегрування знаходимо

$$w = \frac{M}{4\rho h l} \frac{1}{r^2} - \frac{1}{R^2}, \quad (7)$$

де  $w$  — кутова швидкість обертання барабана;

$r_0$  і  $R$  — радіуси барабана і деки відповідно;

$l$  — довжина барабану;

$M$  — момент кручення, який виникає за рахунок переміщення матеріалу та ексцентриситету між барабаном і декою.

При чому

$$M = \frac{M_{max} - M_{min}}{D_{max} - D_{min}} \times l, \quad (8)$$

де  $M_{max}$  і  $M_{min}$  — момент, який виникає відповідно на вході і на виході продукції з робочої зони подрібнювача.

Рівняння (7) описує поведінку бінгамового тіла (подрібненої маси) в технологічній зоні подрібнювача. Враховуючи рівняння (4-

б), які справедливі до встановленого обертального ламінарного потоку, незалежно від матеріалу, та комбінуючи ці рівняння отримаємо:

$$h_{nl} r \frac{dw}{dr} = \frac{M}{2p l r^2} - g_m. \quad (9)$$

Інтегруючи рівність (9), отримаємо

$$h_{nl} w = \frac{M}{4\pi l} \frac{1}{\xi r_o^2} - \frac{1}{R^2} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} - t \ln \frac{r_o}{R}. \quad (10)$$

Вводячи коефіцієнти  $K_1 = \frac{1}{4\pi l} \frac{1}{\xi r_o^2} - \frac{1}{R^2} \frac{\ddot{\theta}}{\theta}$  і  $K_2 = \ln \frac{r_o}{R}$ ,

маємо

$$w = \frac{K_1}{h_{nl}} M - K_2 \frac{t_m}{h_{nl}}. \quad (11)$$

Рівняння (11) є рівнянням Рейнера і Рівліна, яке пристосовано для даного подрібнювача.

Розглядаючи матеріал в технологічній зоні, необхідно враховувати, що в даному випадку рідина не є ньютонівською, тверде тіло є пластичним.

З урахуванням формули (2), рівняння (8) набуде вигляду:

$$M = \frac{2p l t_m (R^2 - r_o^2)}{e} \times l. \quad (12)$$

При проходженні подрібненої маси в технологічній зоні нам потрібно ввести коефіцієнт  $k$ , який враховує характеристику дослідного матеріалу. Тобто, враховуючи  $k$  і рівняння (12), рівняння Рейнера і Рівліна (11) набуде вигляду:

$$w = k \frac{K_1}{\xi h_{nl}} M - K_2 \frac{t_m}{h_{nl}} \frac{\ddot{\theta}}{\theta}. \quad (13)$$

Рівняння (13) показує отриману кутову швидкість подрібненої маси разом з давильним барабаном, необхідну для виконання технологічного процесу, з урахуванням всіх параметрів подрібненої маси.

Враховуючи міркування В.П. Горячкіна що до молотильного барабану 5, що споживча потужність витрачається на надання швидкості подрібненій масі і подолання опору при проходженні крізь технологічну зону.

Тобто, колове зусилля  $P_1$ , яке виникає в зв'язку з наданням подрібненій масі швидкості, визначимо через основне рівняння удару:

$$P_1 D t = D m v. \quad (14)$$

Після деякої математичної перебудови, рівняння (14) набуде вигляду:

$$P_1 = \zeta \frac{Dm \ddot{\phi}}{Dt} v = m \zeta v, \quad (15)$$

де  $m'$  – маса подачі продукції в 1 с, тобто  $m' = q / g$ ;

$q$  – подача продукції в подрібнювач, кг/с.

Опір  $P_2$ , який зустрічає барабан, переміщуючи подрібнену масу в технологічній зоні, рахуємо пропорційним всьому коловому зусиллю  $P$ , тобто

$$P_2 = mP, \quad (16)$$

де  $m$  – коефіцієнт пропорційності або коефіцієнт зміни маси при проходженні через технологічний зазор “барабан – дека”.

Повне колове зусилля

$$P = P_1 + P_2 = m \zeta v + mP. \quad (17)$$

Провівши математичні перетворення формули (17), отримаємо

$$P = \frac{q v}{g(1 - m)}. \quad (18)$$

Враховуючи вираз (13) та умову  $v = W \times r_\phi$ , рівняння (18)

найдує вигляду:

$$P = \frac{q \times r_{\sigma} \times k_{\xi} \frac{\alpha K_1}{\dot{\epsilon} h_{nl}} M - K_2 \frac{t_m \ddot{\theta}}{h_{nl} \dot{\theta}}}{g(1 - m)}. \quad (19)$$

Помножимо обидві частини рівняння (19) на  $v$ , та отримаємо потужність необхідну для виконання технологічного процесу

$$N = \frac{q \times r_{\sigma} \times k_{\xi} \frac{\alpha K_1}{\dot{\epsilon} h_{nl}} M - K_2 \frac{t_m \ddot{\theta}^2}{h_{nl} \dot{\theta}}}{g(1 - m)}. \quad (20)$$

**Висновки.** Таким чином, при аналізі реології поведінки неньютонової рідини в технологічному зазорі, утвореному циліндрами, що обертається і нерухомими, можна зробити наступні висновки:

- дотичні напруги, які найбільшою мірою впливають на ступінь деформації (подрібнення) насінневих плодів, обернено пропорційні квадрату відстані від осі обертання барабана, при цьому в розглянутому прикладі в'язкість убуває із зростанням дотичної напруги;
- для подальшого теоретичного аналізу необхідно провести експериментальні дослідження за визначенням характеристик реологій подрібненої маси.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Анисимов И. Ф. Машины и поточные линии для производства семян овощебахчевых культур. - Кишинев: Штиинца, 1987. - С.33, 73.
2. Сахарный Н.Ф. Курс теоретической механики. - М.: Высшая школа, 1964. - 844с.
3. М. Рейнер Деформация и течение // Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы.-Москва, 1963. - С.47-147.
4. Реология. Теория и приложения. Под ред. Ф.Эриха. М.: Издательство иностранной литературы, 1962. - 824с.
5. Горячкин В.В. Собрания в 3-х томах. - М.: Колос, 1982. - 800с.