

ІВАНЕНКО А.В., д-р техн. наук, професор  
 ОСИПОВА Л.А., д-р техн. наук, СОЛОГУБ О.А., ст. наук. співробітник  
 Одеська національна академія харчових технологій  
 ТЕНЮХ К.М., канд. техн. наук, доцент  
 Одеський державний економічний університет

## ФРИКЦІЙНА ТЕОРІЯ ПЕРЕРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

Доведено на прикладі роботи шнекових пресів дієвість фрикційної теорії взаємодії робочих органів машин та харчової сировини, що безпосередньо впливає на якість продукції.

**Ключові слова:** тertia внутрішнє та зовнішнє, тиск, диференціальні рівняння, енергія, швидкість руху.

Effectiveness of friction theory of co-operation of workings organs of machines and food raw material which directly influences on quality of products is proved on the example of work of shnekovikh presses.

**Keywords:** a friction is internal and external, pressure, differential equalizations, energy, rate of movement.

Харчова сировина як рослинного, так і тваринного походження потребує різних видів обробки. Домінуючими є механічні та теплові процеси, які супроводжують процеси дифузії, окиснювання та інших перетворень, що впливають на якість та комерційні особливості продукції. Кожна машина має двигун та робочі органи, які діють на сировину, змінюючи її форму та властивості. Часто з сировини потрібно вилучити тільки певні її складові. Так, наприклад, при переробці винограду є необхідність вилучити сушло окремо із м'якоти ягоди винограду та окремо з клітин, що знаходяться під шкіркою ягоди. Для вибіркового вилучення сушла використовують різну міцність окремих клітин сировини. Для руйнування як шкірочки ягід, так і мембран окремих клітин необхідна певна інтенсивність енергетичної дії та певна тривалість дії енергії. Тут головними є сили внутрішнього та зовнішнього тертя. Переконалися у дієвості фрикційної теорії можна на прикладі роботи шнекових механізмів.

У шнекових пресах є дірчастий циліндр, шнек, завантажувальний бункер, пристрій для виходу вичавок та рушійний механізм. Тиск у виноградній масі виникає при взаємодії гвинтової поверхні шнека, виноградної маси та циліндра преса. При цьому сили тертя тут відіграють вирішальну роль. Для виявлення закономірностей створення тиску та оптимізації технологічних режимів вилучення сушла потрібно створити математичну модель зміни тиску уздовж гвинтового каналу. Для спрощення задачі гвинтовий канал заміняють кільцем прямокутного перерізу з двома циліндричними поверхнями та двома дисками. Розміри модельних циліндрів відповідають розмірам гвинтових поверхонь. На рис. 1 наведено дійсний гвинтовий канал та його модель. Радіуси знаходять за формулами

$$R_1 = \frac{R}{\cos \alpha}, \quad (1)$$

$$r_1 = \frac{r}{\cos \alpha_1}, \quad (2)$$

де  $\alpha$  і  $\alpha_1$  — кути нахилу гвинтових ліній по  $R$  і  $r$ .

У моделі напрями швидкостей на зовнішній поверхні кільця повернені на кут  $\alpha$  щодо швидкостей у шнековому механізмі. Те ж стосується напрямку сил тертя, що діють на поверхні мезгового бруса. Застосована циліндрова система координат, в якій вісь  $z$  на-

правлена уздовж осі циліндра. Через вісь  $z$  проведена нерухома площина, пов'язана з циліндром преса. Друга площина, що також проходить через вісь  $z$ , — рухома. Кут між площинами, зміряний в радіанах, позначений буквою  $\varphi$ . При повороті рухомої площини на кут  $d\varphi$  з кільця виділяється елементарна частинка мезги. Робиться припущення, що мезга під час руху зберігає незмінною свою форму (не деформується), разом з тим припускають, що вона здатна передавати тиск на всі боки і здатна чинити опір зрушенню, а також зазнавати кулонівського тертя об стінки каналу і об циліндр преса. Виноградні преси є тихохідними, тому масовими силами, що відіграють другорядну роль, можна нехтувати. Допускається, що сили тертя рівномірно розподілені по контуру мезгового елемента, а тиск у меззі однаковий в усіх точках поперечного перерізу каналу. Біля входу в канал мезга знаходиться під тиском  $p_0$ , в перерізі, поверненому на кут  $\varphi$  від початкової площини, тиск дорівнює  $p$ . Усреднювання тиску проведене по всьому перерізу каналу, наприклад, для  $p$

$$p = \frac{\int \int p' d\omega}{\omega}, \quad (3)$$

де  $\omega$  — площа поперечного перерізу каналу в перети-

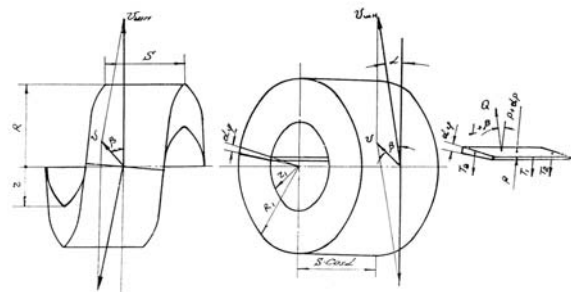


Рис. 1. Проміжний виток шнекового механізму ("а" — дійсний виток, "в" — модель витка)

ні  $\varphi$ ;

$p'$  — тиск в кожній точці перерізу  $\varphi$ .

Оскільки мезга рівномірно обертається навколо осі шнека, то сума моментів всіх сил, щодо осі обертання, дорівнює нулю.

Моменти сил, що діють на виділену частинку мезги, дорівнюють наступним величинам.

При рівномірному розподілі тиску рівнодіюча нормального тиску перпендикулярна осьовому перетину і знаходиться від осі кільця на відстані  $(R_1 + r)/2$ , тому момент сили, обумовлений перепадом тиску уздовж каналу, дорівнює:

$$M_p = \frac{S \cdot \cos \alpha}{2} \cdot (R_1 - r_1) \cdot (R_1 + r_1) \frac{dp}{d\varphi} d\varphi, \quad (4)$$

де  $p$  — тиск в каналі;  $S$  — крок шнека.

Сила тертя частинки об циліндр діє в напрямі,

протилежному абсолютній швидкості, оскільки частинка мезги обертається в циліндрі разом з шнеком і одночасно переміщується уздовж каналу. Сила  $Q$  діє на відстані  $R_1$  від осі  $z$ .

$$M_Q = \tau_Q S \cos \alpha \cdot R_1 \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot R_1 d\varphi \cong \tau_Q \cdot S \cdot R_1^2 \cos^2 \alpha \cos \beta d\varphi, \quad (5)$$

де  $\tau_Q$  — напруга на поверхні мезги від сил тертя об циліндр у напрямі переміщення мезги;

$\beta$  — кут відхилення напрямку швидкості мезгової частинки від площини, перпендикулярної осі шнека.

У промислових пресах кути нахилу гвинтової лінії по зовнішньому діаметру не перевершують  $10^\circ$ , а кут  $\beta$  близький до 0 ( $\cos \beta \cong 1$ ).

При невеликих значеннях  $\alpha$  і  $\beta$  —  $\cos(\alpha + \beta) \cong \cos \alpha \cdot \cos \beta$ .

Момент сили тертя частинки об вал шнека

$$M_{T_1} = \tau_{T_1} \cdot S \cdot \cos \alpha \cdot r_1 \cdot r_1 \cdot d\varphi = \tau_{T_1} \cdot S \cdot r_1^2 \cdot \cos \alpha d\varphi, \quad (6)$$

де  $\tau_{T_1}$  — напруга на поверхні мезги від тертя об вал шнека.

Сила тертя частинки прикладена в центрі тяжіння поверхні зіткнення частинки із стінкою каналу, віддаленому на відстань  $l$  від осі шнека.

$$M_{T_2} = \tau_{T_2} \cdot (R_1 + r_1) \cdot (R_1 - r_1) \cdot d\varphi \cdot l = 2/3 \cdot \tau_{T_2} \cdot (R_1^3 - r_1^3) \cdot d\varphi, \quad (7)$$

де  $\tau_{T_2}$  — напруга на поверхні мезги від сил тертя об стінки каналу.

$$l = \frac{\frac{R_1 \cdot R_1 d\varphi}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot R_1 - \frac{r_1 \cdot r_1 d\varphi}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot r_1}{\frac{R_1 \cdot R_1 d\varphi}{2} - \frac{r_1 \cdot r_1 d\varphi}{2}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{R_1^3 - r_1^3}{R_1^2 - r_1^2}. \quad (8)$$

Допускається, що тиск в осьовому і радіальному напрямках дорівнює добутку нормального тиску в тангенціальному напрямі на коефіцієнт  $\zeta$  бокового тиску, подібно до експериментів, проведених в стабілометрі на виноградній меззі.

Прирівнюючи до нуля суму моментів сил, прикладених до частинки мезги, щодо осі шнека, отримуємо диференціальне рівняння рівномірного обертання мезги

$$\frac{S \cos \alpha}{2} \cdot (R_1^2 - r_1^2) dp - \tau_Q S R_1^2 \cos^2 \alpha \cdot \cos \beta d\varphi + \tau_{T_1} S r_1^2 \cdot \cos \alpha d\varphi + \frac{2}{3} \tau_{T_2} \cdot (R_1^3 - r_1^3) d\varphi = 0. \quad (9)$$

Замінивши напругу сил тертя на поверхні виділеної частинки через нормальний тиск і коефіцієнти тертя мезги об стінки каналу і вал, а також об циліндр преса, маємо:

$$\tau_Q = f_2 \zeta p, \quad \tau_{T_1} = f_1 \zeta p, \quad \tau_{T_2} = f_1 \zeta p,$$

$$\frac{S \cos \alpha}{2} \cdot (R_1^2 - r_1^2) dp - f_2 \zeta p S R_1^2 \cos^2 \alpha \cdot \cos \beta d\varphi + f_1 \zeta p S r_1^2 \cos \alpha d\varphi + \frac{2}{3} f_1 \zeta p (R_1^3 - r_1^3) d\varphi = 0, \quad (10)$$

де  $f_1$  — коефіцієнт тертя мезги об вал і бічні стінки шнека;

$f_2$  — коефіцієнт тертя мезги об циліндр преса.

Вважаючи, що значення коефіцієнтів тертя, коефіцієнтів бокового тиску, кут  $\beta$  і геометричні розміри шнека на довжині одного витка залишаються постійними, запишемо рівняння в наступному вигляді:

$$\frac{dp}{p} = A d\varphi, \quad (11)$$

де

$$A = \frac{2\zeta}{R_1^2 - r_1^2} \times$$

$$\times \left[ f_2 R_1^2 \cos \alpha \cos \beta - f_1 r_1^2 - \frac{2}{3} f_1 \cdot \frac{R_1^3 - r_1^3}{S \cdot \cos \alpha} \right]. \quad (12)$$

Інтегруючи рівняння (11), знаходимо

$$\ln p = A\varphi + c. \quad (13)$$

Отримане рівняння повинно задовольняти граничним умовам біля входу в канал. При  $\varphi = 0$  тиск  $p = p_o$ . Застосовуючи цю умову, отримуємо рівняння для визначення тиску уздовж каналу:

$$\ln p_o = c; \quad \ln p = A\varphi + \ln p_o; \quad (14)$$

$$p = p_o e^{A\varphi}. \quad (15)$$

Підставивши (12) в (15), остаточно отримаємо

$$p = p_o e^{\frac{2\zeta}{R_1^2 - r_1^2} \left[ f_2 R_1^2 \cos \alpha \cos \beta - f_1 r_1^2 - \frac{2}{3} \frac{f_1}{S \cos \alpha} (R_1^3 - r_1^3) \right] \varphi} =$$

$$p_o K_3, \quad (16)$$

де  $K_3$  — коефіцієнт зміни тиску закритого витка.

Тиск уздовж каналу змінюється за експоненціальною функцією і залежить від кута  $\beta$ , який пов'язаний з коефіцієнтом подачі  $\eta$ .

Розподіл швидкостей при русі мезги у шнеково-му каналі зображений на рис. 2. Користуючись цим рисунком, можна записати

$$V_M = V_{шн} - V_z \operatorname{ctg} \alpha, \quad (17)$$

де  $V_M$  — окружна швидкість мезги щодо циліндра;

$V_{шн}$  — окружна швидкість шнека щодо циліндра;

$V_z$  — осьова швидкість мезги.

Коефіцієнтом подачі є відношення фактичної подачі  $V_z$  до теоретично можливої  $V_{шв}$ . Коефіцієнт подачі можна виразити через відношення окружної швидкості мезги щодо шнека до окружної швидкості шнека щодо нерухомої системи координат.

$$\eta = \frac{V_z}{V_{шн}} = \frac{V_{шн} - V_M}{V_{шн}} = 1 - \frac{V_M}{V_{шн}}; \quad V_{шн} = \frac{V_M}{1 - \eta}. \quad (18)$$

Підставивши останній вираз в (17), знаходимо

$$\operatorname{ctg} \alpha \cdot V_z = \frac{V_M}{1 - \eta} - V_M; \quad V_z = V_M \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{\eta}{1 - \eta}. \quad (19)$$

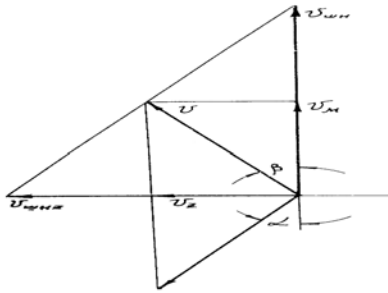


Рис. 2. Розподіл швидкостей при русі мезги у шнековому механізмі

Відношення окружної швидкості мезги щодо циліндра до повної швидкості мезги можна виразити через кут  $\beta$ .

$$\cos \beta = \frac{V_M}{V} \quad (20)$$

Разом з тим, повна швидкість мезги дорівнює геометричній сумі осевої і окружної швидкості мезги.  $V = \sqrt{V_z^2 + V_M^2}$  (21)

Підставивши вираз (19) в (21) і потім в (20), отримаємо

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{\eta}{1 - \eta} \right)^2}} \quad (22)$$

Підставивши отриманий вираз для косинуса кута  $\beta$  в рівняння (16), отримаємо узагальнене рівняння шнекового механізму

$$p = p_0 e^{\left[ \frac{2\zeta}{R_1^2 - r_1^2} \left( f_2 R_1^2 \cos \alpha \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{\eta}{1 - \eta} \right)^2}} - f_1 r_1^2 - \frac{2}{3} \frac{f_1}{S \cos \alpha} (R_1^3 - r_1^3) \right) \right] \varphi}$$

Таким чином, на прикладі шнекових машин доведено, що фрикційна теорія переробки харчової сировини має великі можливості для покращення технологій та технологічного обладнання. Зокрема, створено та впроваджено у виробництво низку пристроїв та нових типів пресів.

Поступила 02. 2010

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ртищев Ю.Н. и др. Пресс для винограда ВПГ-30 / Ю.Н. Ртищев, А.В. Иваненко, Ю.Г. Мадан // Информ. листок Молд. НИИНТИ, № 38-80. – Кишинев, 1980. – 4 с.
2. Иваненко А.В. Виноград — вино та інші перетворення / А.В. Иваненко, К.М. Тенюх // Одеса: Астропринт, 2007. – 808 с.
3. Моисеенко Д.А. Исследование процессов изготовления вин типа портвейна белого и разработка рациональных аппаратурно-технологических схем поточного производства: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Одесса, 1974. – 27 с.
4. Фуркевич В.О. Исследование и совершенствование технологий приготовления виноматериалов для белых столовых вин: Дис. ... канд. техн. наук. – Ялта, 1980.
5. Иваненко А.В. Технологическая механика переработки винограда // А. В. Иваненко, К.М., Тенюх, Ю.Н. Ртищев. – Одесса: Астропринт, 2000. – 304 с.
6. Два наукових напрями розвитку технологій та обладнання / А.В. Иваненко, О.А. Сологуб, Г.І. Томашек, К.М. Тенюх // Харчова наука і технологія. – 2009. – № 3(8). – С. 88-90.
7. Томашек Г.І. Основи оптимізації технологічних процесів та обладнання виноградної промисловості / Г.І. Томашек, А.В. Иваненко, К.М. Тенюх // Харчова наука і технологія. – 2009. – № 3(8). – С. 98-100.

УДК [577.112 + 664.29:66.069.852-966

Д'ЯКОНОВА А.К., д-р техн. наук, доцент

Одеська національна академія харчових технологій

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІНОУТВОРЕННЯ ТА УМОВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПІНОПОДІБНИХ СТРУКТУР

В роботі представлено результати дослідження піноутворюючої здатності рослинних білків і білок-пектинових комплексних структур, визначено умови процесу стабілізації піноподібних структур. Досліджено вплив різних технологічних факторів – рН, масової частки піноутворювачів на процес стабілізації піноподібних мас. Установлено залежність зміни ступеня дисперсності і в'язкості білка та білок-пектинових комплексних структур від рН середовища.

**Ключові слова:** рослинний білок, білок-пектиновий комплекс, піноутворення, стійкість піни.

In work the results of research of foamutvorennya ability of vegetable albumens are presented and protein-pectin of complex structures, certainly terms of process of stabilizing of foamsimilar structures. Probed influencing of different technological factors – pH, mass particle of foamutvorennya on the process of stabilizing of foamsimilar masses. Dependence of change of degree of dispersion and viscosity of albumen is set and protein-pectin of complex structures from and dī environment.

**Keywords:** vegetable albumen, protein-pectin complex, foamutvorennya, firmness of suds.

Великою популярністю у населення нашої країни користуються продукти піноподібної структури, які виробляються у різних галузях харчової промисловості – кондитерській, консервній, молочній, а також у сфері громадського харчування. Завдяки приємній консистенції, високій харчовій і біологічній цінності, такі вироби, як зефір, пастила, морозиво, суфле,

коктейлі та ін. завоювали стабільний ринок збуту.

Піноутворення є одним із способів зміни консистенції і створення необхідної структури харчових продуктів. Піни являють собою висококонцентровані дисперсії газу у рідині в присутності піноутворювачів. Типовими піноутворювачами, у випадку водних пін, є поверхнево-активні речовини (ПАВ). Піноподібні структури являють собою дисперсну систему з великою поверхнею дотику рідини з газовим середовищем. Тому вони дуже нестійкі і намагаються до мінімуму скоротити поверхню розподілу. Із збільшенням молекулярної маси і концентрації ПАВ стійкість утворених за їх участю пін підвищується [1]. Газові бульбашки, внаслідок надлишку газової фази у піні і взаємного стискання, втрачають сферичну форму і являють собою поліедричні комірочки, які мають відповідну структуру і володіють певною жорсткістю або механічною міцністю. Стійкість піни визначається гідродинамічними факторами і відповідними властивостями системи, а саме - в'язкістю рідкої фази [2].

Для отримання піноподібних структур харчових продуктів широко використовуються речовини, які