

## АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВІДЖИМАННЯ СОКІВ

В статті представлено результати аналітичного дослідження процесу віджимання соків в пресах шнекового типу. Об'єктом представлених досліджень є шнеки зі змінним об'ємом витків. Отримані залежності для розрахунку раціональних геометричних і технологічних параметрів шнекових вузлів пресів для видавлювання соків, які можуть бути використані для інженерних розрахунків.

Ключові слова: сік, шнек, розміри, швидкість, тиск, потужність, момент.

O.P. BURMISTENKOV, V.P. MISIATS, O.A. STARODUB

Kyiv National University of Technologies and Design

### ANALYTICAL DETERMINATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF SCREW DEVICE FOR JUICE SQUEEZING

*Abstract – In the article methodology of the theoretical going is expounded near planning of screw devices of domestic technique. In particular kitchen machines for the receipt of juices from garden trucks. Materials of the article are the result of researches of authors. The purpose of the conducted researches is establishment of theoretical dependences between the geometrical parameters of forcing screws. The results of analytical research of process of juice squeezing are presented in the presses of screw type. The object of the presented researches are screws with the variable volume of coils. Got dependences for the calculation of rational geometrical and technological parameters of screw knots of extruders juices which can be used for engineering calculations. As an example, results over of engineering calculation of screw device are brought for juice squeezing.*

*Keywords: juices, screw, sizes, speed, pressure, power, moment.*

#### Вступ

Для вичавлювання соку з фруктів і овочів в домашніх умовах використовують шнекові пристрої, в яких речовина, що переробляється, рухається в зазорі між витками шнека та корпусом, що поступово зменшується. На сьогодні в технічній літературі, присвяченій конструюванню нагнітаючих шнекових пристроїв, відсутні аналітичні залежності, які дозволяють на стадії конструювання обґрунтовано запропонувати геометричні параметри нагнітаючих шнеків, залежно від конкретної величини кінцевого тиску та характеру його зміни вздовж шляху транспортування речовини, що переробляється.

Метою такого дослідження є встановлення теоретичних залежностей між геометричними параметрами нагнітаючих шнеків, фізико-механічними властивостями речовини та величиною, і характером зміни тиску в міжвитковому просторі шнека. Вказані залежності дадуть можливість не лише отримати конструктивні розміри, але і розробити програму обробки на токарному верстаті або безпосередньо шнека, чи моделі для ливарного виробництва.

#### Об'єкт та методи досліджень

При аналітичних дослідженнях розглянуто шнековий пристрій, що характеризується наступними основними геометричними параметрами:  $D$  – зовнішній діаметр шнека;  $d$  – діаметр валу шнека;  $d$  – товщина витка шнека;  $H$  – крок витків шнека;  $\alpha$  – кут підйому (нахилу) гвинтової лінії шнека;  $L$  – довжина робочої частини шнека;  $z$  – число витків шнека;  $\omega$  – швидкість обертання. Для нагнітаючих шнеків характерною є зміна розмірів гвинтового каналу по довжині шнека. Міра стискування продукту в гвинтових канавках шнека може умовно характеризуватися зменшенням об'єму міжвиткового простору по довжині шнека, яке може відбуватись при змінних  $D$ ,  $d$ ,  $H$ . Аналітичні дослідження проведено для шнека зі змінними діаметрами  $D$  і  $d$ .

#### Результати досліджень

Приймаємо, що шнек соковижималки має характерні діаметри (рис. 1), що зменшуються за лінійними законами:

$$D(x) = D_0 - x \cdot tg(g); \quad (1)$$

$$d(x) = d_0 - x \cdot tg(g), \quad (2)$$

де  $D(x)$ ,  $d(x)$  – зовнішній діаметр витків шнека і діаметр осердя в поперечному перетині, що відповідає координаті  $x$ ;  $D_0$ ,  $d_0$  – зовнішній діаметр витків шнека і діаметр осердя на початку вісі координат (при  $x=0$ );  $g$ ,  $c$  кути конусності шнека і осердя (рис. 1).

При цьому виконується умова:

$$d(x) = kD(x), \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності між діаметрами шнека.

Об'єм витка шнека зменшується по його довжині і може бути визначений за формулою:

$$V(x) = p \left( (D(x))^2 - (d(x))^2 \right) H, \quad (4)$$

де  $H$  – крок гвинтової лінії шнека (рис. 1).

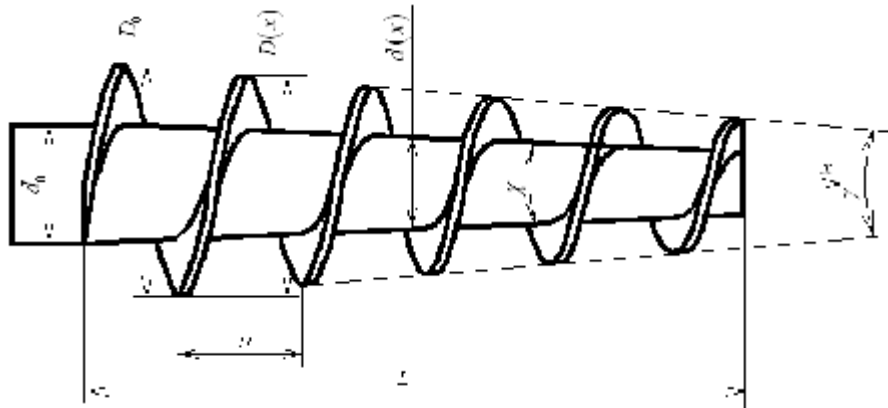


Рис. 1. Розрахункова схема шнека

Оскільки для нашого шнека прийнято, що на всій його довжині виконується умова (3), то вираз (4) приймає вигляд:

$$V(x) = p \cdot H \cdot (1 - k^2) \cdot (D(x))^2. \quad (5)$$

Обираємо за початок системи координат основу шнека в зоні завантаження і отримуємо вираз для визначення об'єму витка шнека залежно від положення по довжині:

$$V(x) = p \cdot H \cdot (1 - k^2) \cdot (D_0 - x \cdot \operatorname{tg}(g))^2, \quad (6)$$

де  $D_0$  – діаметр шнеку при  $x=0$ .

При віджиманні соків з фруктів і овочів зменшення об'єму сировини не перевищує 70% [1] ( $k_{\phi} = 0,7$ ), тобто максимальна ступінь стиснення повинна становити  $k_{cm} = 0,33$ . Для цього повинна виконуватись умова:

$$k_{cm} = \frac{V_0}{V(L)} \geq 3. \quad (7)$$

Використовуючи залежність (6) приведемо умову (7) до вигляду:

$$\frac{D_0^2}{(D_0 - L \cdot \operatorname{tg}(g))^2} \geq 3. \quad (8)$$

З умови (8) отримуємо вираз для визначення необхідної довжини шнеку:

$$L \geq \left( D_0 - \frac{D_0}{\sqrt{3}} \right) \frac{1}{\operatorname{tg}(g)}. \quad (9)$$

Тиск, що розвивається шнеком, складається із складових, необхідних для просування продукту від зони завантаження, ущільнення його, руйнування первинної структури і відділення соку, а також для відфільтрування соку при його відведенні через капіляри осаду і отвору сітки. В [1] для тиску на виток шнека від пресування продукту і просування його уздовж камери наведена формула:

$$p_2 = p_0 \exp(BLk_{\phi}), \quad (10)$$

де  $p_0$  – мінімальний тиск на початку зони пресування, необхідний для пресування конкретного продукту (для буряка  $p_0 = 0,028$  МПа, для моркви  $p_0 = 0,024$  МПа);  $L$  – загальна робоча довжина шнека;  $k_{\phi}$  – коефіцієнт, що враховує явище фільтрації;  $B$  – постійна величина, визначується конструкцією шнека.

$$B = \frac{p D_1 j \cdot \operatorname{tg} a}{p (R_1^2 - r_1^2)}, \quad (11)$$

де  $p D_1$  – периметр першого витка шнека в зоні завантаження продукту, м;  $j$  – коефіцієнт заповнення гвинтової канавки шнека;  $a$  – кут підйому гвинтової лінії шнека;  $p (R_1^2 - r_1^2)$  – площа осевого перерізу гвинтової канавки в зоні завантаження.

Корисна (технологічна) потужність шнекового пресу  $N$ , необхідна для подолання в одиницю часу усіх технологічних опорів, пов'язаних з проштовхуванням продукту до виходу, ущільненням його і створенням тиску на виході, визначається, добутком крутного моменту  $M_{кр}$  на частоту обертання робочого валу. В даному випадку шнекового валу:

$$N = \omega M_{кр} = \frac{Pn}{30} M_{кр}, \quad (12)$$

де  $n$  – частота обертання.

Потужність, що витрачається на стискання матеріалу в соковижималці можна визначити виходячи з наступних міркувань.

Робота, що здійснюється при розширенні або стискуванні якого-небудь робочого тіла дорівнює добутку тиску на приріст об'єму. Якщо вважати, що тиск в гвинтових канавках шнека соковижималки по довжині шнека зростає за певним законом, то у  $i$ -му витку тиск складе:

$$p_i = 0,025 \exp[0,0206 \cdot (l_0 + H \cdot i)], \quad (13)$$

де  $l_0$  – координата середини першого витка;  $H$  – крок шнека;  $i = 0, 1, 2, \dots, z$ .

Зменшення об'єму продукту при переході з одного витка в інший можна умовно вважати рівним різниці об'ємів міжвиткового простору сусідніх витків (не враховуючи при цьому коефіцієнт заповнення продуктом міжвиткового об'єму):

$$\Delta V_i = (V_i - V_{i+1}), \quad (14)$$

де  $V_i$  – об'єм міжвиткового простору в  $i$ -му витку;  $V_{i+1}$  – об'єм міжвиткового простору в  $(i + 1)$ -му витку.

Вираз для визначення  $\Delta V_i$  при переході з одного витка в інший отримано на основі формули (6):

$$\Delta V_i = 0,75pH \left[ (D_0 - (l_0 + H \cdot i) \cdot \operatorname{tg}(g))^2 - (D_0 - (l_0 + H \cdot (i+1)) \cdot \operatorname{tg}(g))^2 \right]. \quad (15)$$

Тоді робота стискування при переміщенні матеріалу на один крок витка, здійснювана шнеком за один оберт, становитиме:

$$A_i = p_i \Delta V_i. \quad (16)$$

При цьому технологічна потужність, необхідна для здійснення віджимання соку в одному витку шнека, буде рівна:

$$N_i^{\text{відж}} = \frac{n}{60} p_i \Delta V_i, \quad (17)$$

де  $n$  – частота обертання шнека.

Технологічна потужність, необхідна для здійснення віджимання соку

$$N^{\text{відж}} = \frac{n}{60} \sum_{i=0}^z p_i \Delta V_i. \quad (18)$$

Робота, що витрачається на тертя матеріалу при його переміщенні в соковижималці, складається з робіт сил тертя по поверхні циліндру і по поверхні шнека:

$$A_{\text{тер}} = A_{\text{цил}} + A_{\text{шн}}. \quad (19)$$

Робота тертя по поверхні шнеку складається з роботи тертя по бічних поверхнях витків і роботи тертя по поверхні осердя:

$$A_{\text{шн}} = A_{\text{б}}^{\text{шн}} + A_{\text{ос}}^{\text{шн}}. \quad (20)$$

Для  $i$ -го витка:

$$A_i^{\text{цил}} = p_i \cdot S_i^{\text{цил}} \Pi_i^{\text{цил}} f_{\text{тер}}; \quad A_{\text{б}}^{\text{шн}} = p_i \cdot S_i^{\text{б}} \Pi_i^{\text{б}} f_{\text{тер}}; \quad A_{\text{ос}}^{\text{шн}} = p_i \cdot S_i^{\text{ос}} \Pi_i^{\text{ос}} f_{\text{тер}}. \quad (21)$$

Площі поверхонь тертя знайдемо з геометричних характеристик шнека:

$$S_i^{\text{цил}} = p D_i H; \quad S_i^{\text{б}} = \frac{p(D_i^2 - d_i^2)}{2}; \quad S_i^{\text{ос}} = p d_i H. \quad (22)$$

Попередньо вважаємо, що матеріал рухається по поверхні циліндра в напрямку осі  $x$ , тобто кут транспортування максимально можливий.

Тоді відповідні вирази для переміщень за один оберт шнека:

$$\Pi_i^{\text{ц}} = H; \quad \Pi_i^{\text{б}} = p \frac{D_i + d_i}{2}; \quad \Pi_i^{\text{ос}} = p d_i. \quad (23)$$

Робота тертя  $i$ -го витка за один оборот шнеку:

$$A_i^{\text{тер}} = p p_i f_{\text{тер}} \cdot (D_i H^2 + p(D_i^2 - d_i^2)(D_i + d_i) + p H d_i^2). \quad (26)$$

Потужність, що витрачається на подолання сил тертя:

$$N^{\text{тер}} = \frac{Pn}{30} \sum A_i^{\text{тер}}. \quad (24)$$

### Висновки

При проектуванні шнекового пристрою, як, правило, мають бути задані наступні початкові дані:

- вид продуктової сировини і отриманого продукту;

- характер технологічного процесу (транспортування, дозування, нагнітання без відведення або з відведенням рідкої, твердої або тієї та іншої фаз продуктової сировини);
- продуктивність пристрою.

Маючи перераховані дані про сировину і необхідні характеристики технологічного процесу можна здійснювати розрахунки раціональних геометричних і технологічних параметрів шнекових пристроїв на основі представлених аналітичних досліджень.

Наведемо приклад. При віджиманні соку з подрібнених на терці овочів типу моркви і буряка тиск  $P_{np}$  складає 300...400 кПа, а коефіцієнт фільтрації становить  $k_{\phi} = 0,6...0,8$ . Підставляючи значення  $P_0$ , і значення  $B$  і  $k_{\phi}$  в (10), отримуємо залежність тиску по довжині шнеку:

$$P_2 = 0,025 \exp(0,0294 \cdot l \cdot 0,7) = 0,025 \exp(0,0206 \cdot l). \quad (25)$$

На рис. 2 представлено графік розвитку тиску по довжині шнеку, що розвивається в каналі соковижималки, який отримано на основі виразу (25).

Значення параметрів для витків шнека отримані за отриманими формулами, представлено в табл. 1.

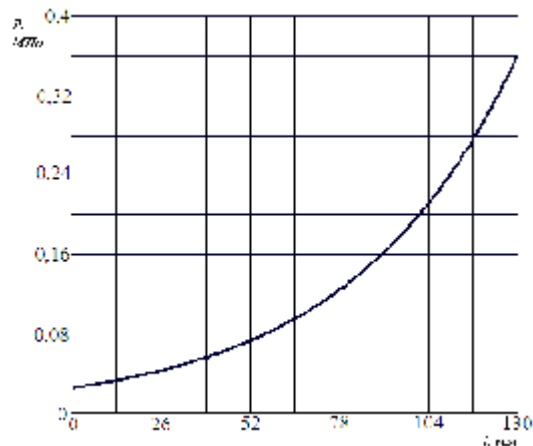


Рис. 2. Графік розвитку тиску по довжині шнеку за виразом (13) за наступних значень параметрів:  $k = 0,5$ ;

$$D_0 = 50 \text{ мм}; g = 10^\circ; H = 25 \text{ мм}$$

Таблиця 1

Розрахункові значення геометричних і технологічних параметрів шнека

Параметр	Номер витка шнека				
	0	1	2	3	4
$P_i$ , МПа	0,036	0,06	0,1	0,167	0,279
$A_i^{мер}$ , Дж	2,33	2,93	3,57	4,25	4,75

$$A^{мер} = 2,33 + 2,93 + 3,57 + 4,25 + 4,75 = 17,83 \text{ Дж.}$$

На основі (18), (24) і даних з таблиці 1 отримуємо технологічну потужність, необхідну для здійснення віджимання соку:  $N^{відж} = \frac{100}{60} \cdot 3,61 = 6,02 \text{ Вт}$ ,  $N^{мер} = \frac{3,14 \cdot 100}{30} \cdot 17,83 = 186,6 \text{ Вт}$ .

Підсумовуючи потрібну потужність для усіх витків шнека, отримаємо технологічну потужність необхідну для обертання шнека соковижималки:  $N = N^{мер} + N^{відж} = 186,6 + 6,02 = 192,62 \text{ Вт}$ .

### Література

1. Соколов В.И. Основы конструирования машин и аппаратов пищевых производств : [учебник для ВУЗов по специальности «Машины и аппараты пищевых производств»] / Соколов В.И. – М. : Машиностроение. 1983. – 447 с.

2. Горбатов А.В. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов : [справочник] / Горбатов А.В. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.

### References

1. Falcons V.I. Bases of constructing of machines and vehicles of food productions. Textbook for Institutes of higher on speciality "Machines and vehicles of food productions". M. Engineer. 1983. - 447 p.

2. Gorbatov A.V. and other. Structures and mechanicals descriptions of food foods. Reference book. M. Light and food industry. 1982. - 296 p.

Рецензія/Peer review : 17.3.2013 р.

Надрукована/Printed : 20.4.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. кафедри "Електромеханічних систем" Київського національного університету технологій та дизайну Петко І.В.