

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ДВОШНЕКОВОГО УЩІЛЬНЮВАЧА З ОДНОБІЧНИМ ОБЕРТАННЯМ ШНЕКІВ

Мілько Д.О., к.т.н., доц. \*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

м. Мелітополь

Тел. 067-7988546

e-mail: milko\_dmitry@mail.ru

**Анотація.** У статті представлено теоретичне обґрунтування для визначення продуктивності двошнекового ущільнювача з урахуванням відтоку матеріалу, що піддається ущільненню. На основі теоретичних відомостей щодо використання в процесах ущільнення рослинної сировини двошнекових ущільнювачів було адаптовано їх для процесу ущільнення рослинної сировини шнековими пристроями в галузі тваринництва.

**Ключові слова:** двошнековий ущільнювач, шнеки, ущільнення, однобічне обертання шнеків.

**Постановка проблеми.** При розрахунках продуктивності шнекових пристроїв не виникає проблем, оскільки проблема транспортування матеріалів у шнековому пристрої вивчена в достатній мірі. Тоді як обґрунтування процесу транспортування матеріалів у шнекових пристроях із послідуочим ущільненням викликає деякі питання. Це пов'язано із виникаючим при ущільненні зусиллям, яке в свою чергу зумовлено підвищенням пружних властивостей сировини і збільшенням внутрішнього тертя підчас стиснення та інших умов. При зростанні зусилля пресування можуть виникати так звані витоки матеріалу у просторі між корпусом і шнеком, а при застосуванні двошнекових пристроїв витоки матеріалу будуть присутні і у міжшнековому просторі.

---

\* Науковий керівник: д.т.н., проф. Шацький В.В.

*Аналіз основних досліджень.* Вперше рівняння для розрахунку продуктивності двошнекового екструдера було запропоновано Г. Шенкелем [1] у вигляді

$$Q_{\max} = iNh(2\pi - \alpha')(\pi D t g \alpha - e)(D - h), \quad (1)$$

де  $i$  – кількість заходів шнекової нарізки;

$N$  – швидкість обертання шнеків;

$D$ ,  $h$ ,  $\alpha$  – зовнішній діаметр, глибина та кут підйому шнекового каналу відповідно;

$\alpha'$  – кут перекриття, який визначається за формулою

$$\cos \alpha' = 1 - \frac{2h}{D - h} + \frac{h^2}{1(D - h)^2}. \quad (2)$$

Рівняння (1) визначає продуктивність двошнекового екструдера для крайнього випадку, коли С-подібні секції гвинтів ізольовані одна від іншої, та увесь матеріал, що заповнює цей об'єм, виштовхується за один оберт.

*Ціль дослідження.* Застосування в процесах ущільнення рослинної сировини двошнекових ущільнювачів та адаптування їх для галузі тваринництва.

*Основна частина.* Однак в нашому випадку, а саме забезпечення самоочищення шнеків, необхідне деяке перекриття шнеків і, як наслідок, перетин С-подібних секцій. На додаток до цього відсутність ізольованості С-подібних секцій вимагає наявності зазорів між шнеками (витками). Саме наявність зазорів викликає створення переподрібнення та витоку матеріалу через них підчас виникнення певного опору при ущільненні.

При вивченні продуктивності багатошнекових ущільнювачів дослідники [2, 3, 4] виявили вплив конструкційних параметрів на показники цих пристроїв. Результати цих досліджень показали, що витоки з С-подібних секцій зазвичай відбуваються через бічні та, так звані, валкові зазори зачеплення шнеків. Причиною тому є наявність

градієнту тиску  $(dp/dz)_K$  вздовж шнекового каналу, що є наслідком замикання шнекового каналу, який спрягається з іншим шнеком та опором руху матеріалу у формуючому інструменті (дифузори).

Треба також прийняти до уваги той факт, що виток, який замикає шнековий канал, розвиває уздовж нього градієнт тиску, тоді як від опору формуючого інструменту виникає градієнт тиску  $(dp/dz)_W$ , напрямком якого протилежний напрямку  $(dp/dz)_K$ . Величина  $(dp/dz)_W$  є постійною. У всякому разі градієнт тиску у шнековому каналі можна виразити як

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_K = \left(\frac{dp}{dz}\right)_{KS} + \left(\frac{dp}{dz}\right)_W. \quad (3)$$

Також слід відмітити той факт, що градієнт тиску у шнековому каналі буде залежати від коефіцієнта щільності зчеплення шнеків.

Наявність витоків або переподрібнень (у разі ущільнення сухих компонентів із довжиною надто більшою за діаметр) буде причиною того, що дійсна продуктивність буде нижчою за максимальну, розраховану за рівнянням (1). Тому для розрахунку продуктивності з урахуванням витоків доцільним буде застосування рівняння

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{max}} - Q_C - Q_{\delta}, \quad (4)$$

де  $Q_{\text{max}}$  – максимальна продуктивність двошнекового ущільнювача;

$Q_C$  – сумарний виток з С-подібних секцій;

$Q_{\delta}$  – виток через радіальний зазор  $\delta$  між поверхнями кожуху та гребня гвинта.

Для розрахунку сумарного витoku з С-подібних секцій Константинов В.Н. [5] пропонує наступний вираз

$$Q_C = 2i \int_0^w \int_0^h v_{zk} dx dy, \quad (5)$$

де  $v_{zk}$  – швидкість руху матеріалу у здовж вісі шнеку;

$$v_{zk} = \frac{4DN \cos \alpha}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{2m+1} \frac{\operatorname{sh} \left( \frac{2m+1}{W} \pi y \right)}{\operatorname{sh} \left( \frac{2m+1}{W} \pi h \right)} \sin \left( \frac{2m+1}{W} \pi x \right) \right] \left[ -\frac{\pi DN}{\cos \alpha} + \frac{1}{\mu_k} \left( \frac{dP}{dz} \right)_k \right] \times$$

$$\times \left\{ \frac{y^2}{2} - \frac{yh}{2} + \frac{4h^2}{\pi^3} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^3} \frac{\operatorname{ch} \left[ \pi (2m+1) \frac{2x-W}{2h} \right]}{\operatorname{ch} \left[ \pi (2m+1) \frac{W}{2h} \right]} \sin \left( \frac{2m+1}{h} \pi y \right) \right\} \quad (6)$$

Проінтегрувавши вираз (4) після підстановки в нього залежність (5) отримаємо наступний вираз

$$Q_C = -2\pi t h \left( -ie \right) \left[ D \left( 1 - \frac{\cos^2 \alpha}{2} F_d F_c - h \right) \right] \times$$

$$\times N - \frac{h^3 \left( -ie \right) \overline{F}_p \cos \alpha \left( \frac{dp}{dz} \right)_k}{6\mu_k}, \quad (7)$$

де  $F_d$ ,  $F_c$ ,  $F_p$  – коефіцієнти, що враховують вплив бічних стінок та кривизну шнекового каналу на рух матеріалу;

$$F_d = \frac{16W}{\pi^3 h} \sum_{m=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{(2m+1)^3} \operatorname{th} \frac{(2m+1)\pi h}{2W} \right], \quad (8)$$

$$F_p = 1 - \frac{192h}{\pi^5 W} \sum_{m=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{(2m+1)^5} \operatorname{th} \frac{(2m+1)\pi W}{2h} \right], \quad (9)$$

$$F_c = \frac{D}{2h} - \frac{\ln \frac{1}{1 - \frac{2h}{D}}}{\left[ \left( \frac{h}{D} \left[ \left( \frac{1}{1 - \frac{2h}{D}} \right)^2 \right] \right) - 1 \right]} \quad (10)$$

$D$  – зовнішній діаметр;

$h$  – глибина шнекового каналу;

$W$  – ширина шнекового каналу;

$t$  – крок шнеку;

$i$  – кількість заходів шнеку;

$e$  – ширина гребня шнеку;

$\alpha$  – кут нахилу шнекового каналу.

Для розрахунку витоків через радіальний зазор можна використати вираз, який буде розглядати радіальний зазор як виток через плоску щілину, а саме

$$Q_{\delta} = \frac{\left[ \pi - 2 \arccos \left( \frac{A}{D} \right) \right] D \delta^3}{6 \mu_{\delta} \cos \alpha} \frac{\Delta p}{L}, \quad (11)$$

де  $A$  – міжосева відстань шнеків;

$L$  – довжина зони ущільнення по осі шнека;

$\Delta p$  – перепад тисків у формуючому елементі (дифузорі);

$\mu_{\delta}$  – ефективна в'язкість матеріалу;

$$\mu_{\delta} = \dot{\gamma} = \frac{\pi D N}{\delta}. \quad (12)$$

*Висновки.* Використання вищенаведених залежностей дозволить розширити теоретичні відомості щодо використання в процесах ущільнення рослинної сировини двошнекових ущільнювачів, а також адаптувати їх для процесу ущільнення рослинної сировини шнековими пристроями в галузі тваринництва.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс: пер. с нем. / Под. Ред. А.Я. Шапиро.- Л.: Гос. научно-техническое издательство химической литературы. 1962. - 468 с.
2. Kim W.S. Plaste und Kautschuk / W.S. Kim, Skatschkow W.W., Stungur Ju.W. 1976. Bd. 22. №8. - S. 16-26.
3. Kim W.S. Plaste und Kautschuk / W.S. Kim, Skatschkow W.W., Stungur Ju.W. 1973. Bd. 20. №9.- S. 665-669.
4. Ким В.С. Исследование смешивающей способности экструзионных машин и разработка основ теории и методов расчета процессов смешения полимерных материалов в экструдерах. Дис... докт. техн. наук/ В.С. Ким. - М.: МИХМ, 1979.
5. Константинов В.Н. Исследования влияния геометрических параметров червяков на производительность двухчер-

вячного персса при грануляции некоторых термопластов. Дис... канд. техн. наук / В.Н. Константинов.- М.: МИХМ, 1963.

#### BIBLIOGRAPHY

1. Shenkel' G. The expellers for plastic: transl.from German / Pod red. A.Ya. Shapiro. - L.: Gos. nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo himicheskoy literatury. 1962.- 468 s.
2. Kim W.S. Plaste und Kautschuk / W.S. Kim, Skatschkow W.W., Stungur Ju.W. 1976. -Bd. 22. №8.- S. 16-26.
3. Kim W.S. Plaste und Kautschuk / W.S. Kim, Skatschkow W.W., Stungur Ju.W. 1973.- Bd. 20. №9.- S. 665-669.
4. Kim V.S. Research of mixing ability of extruding machine and development of theory basis and calculation methods of mixing processes of polymer materials in extruders. Dis.dokt.tekh.nauk/ V.S. Kim. - M.: MIHM, 1979.
5. Konstantinov V.N. Research of influence of two-wormed press geometrical parameters on productivity of twin screw under granulation of some thermoplastics. Dis.dokt.tekh.nauk/ V.N.Konstantinov.-M.: MIHM,1963.

#### **THEORETICAL RESEARCH FOR PRODUCTIVITY OF TWIN-SCREW GASKET WITH ONE-SIDE SCREW ROTATION**

D.A. Mil'ko

##### *Summary*

The theoretical substantiation for determination of the twin-screw gasket productivity taking into account the compacted material leakage has been presented in the article. On the basis of theoretical data concerning the use of the twin-screw gaskets in the processes of plant raw material compaction they have been adapted to the plant raw material compaction process with screw devices in livestock.

**Key words:** twin-screw gasket, screw, gasket, one-side screw rotation.