

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРУЖИННОГО ГВИНТОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ЕКСТРУДЕРА

Кондратюк Дмитро Гнатович к.т.н., доцент

Дмитренко Віктор Петрович аспірант

Вінницький національний аграрний університет

Ляшук Олег Леонтійович д.т.н., професор

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Kondratyuk D.

Dimitrenko V.

Vinnitsa National Agrarian University

Lyashuk O.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Анотація: наведено аналітичні залежності, які дозволяють визначити параметри екструдера з пружинним робочим органом та його об'ємну продуктивність.

Ключові слова: екструдер, робочий орган, продуктивність.

Проблема

Ефективним методом впливу на перетравність та кормову цінність зернових кормів є обробка їх в екструдерах, в яких корм піддається впливу високого тиску і температури. В результаті, складні структури білків і вуглеводів розкладаються на простіші, клітковина – на вторинний цукор, крохмаль – до простих вуглеводів. Основні та найбільш важливі зміни в кормі при проходженні його через екструдер, відбуваються в зоні екструзії. При швидкому переході корму із зони високого ($16 \cdot 10^5$ Па і більше) в зону атмосферного тиску акумульована в ньому енергія вивільнюється зі швидкістю, приблизно рівною швидкості вибуху. При цьому в кормі відбуваються глибокі перетворення його структури: розрив кліткових стінок, деструкція, гідроліз.

Для отримання корму високої якості необхідно, щоб процес екструзії протікав стабільно в рівноважному режимі. На практиці це складно реалізувати, оскільки на роботу екструдера впливає ряд конструкційних параметрів робочого органу, від яких залежить якість приготовленого корму і продуктивність екструдера.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основи проектування шнекових робочих органів різноманітних машин викладені в працях [1 - 8] та інших.

Не зважаючи на значну кількість наукових досліджень, які присвячені проектуванню пружинних гвинтових робочих органів екструдерів, питання підвищення їх експлуатаційної надійності, довговічності та збільшення продуктивності залишається недостатньо вивченим, а наукова база для їх створення не завжди відповідає вимогам.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні конструкцій пружинних гвинтових екструдерів для виробництва кормових сумішей і вибір раціональних їх параметрів.

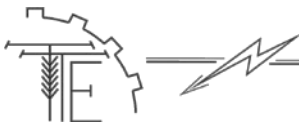
Результати дослідження

Розроблено конструкцію пружинного гвинтового робочого органу екструдера, який являє собою набір секцій, встановлених з можливістю осьового переміщення на шліцьовому валі. По зовнішньому діаметрі секцій нарізані канавки різних кроків. Причому, найбільший крок має перша за ходом корму секція, а найменший – остання. В канавки секцій вкладена пружина з однаковим внутрішнім і зовнішнім діаметрами. Секції шнека встановлені впритул, а їх пружина виконана у вигляді суцільної гвинтової лінії.

Виготовляти пружинний робочий орган необхідно із легованих сталей. Точність виготовлення, по зовнішньому діаметру, має становити 8 ... 9 квалітет з шорсткістю поверхні $R_z = 20 \dots 60$ мкм [6].

На рисунку зображено можливі конструкції пружин гвинтових робочих органів екструдерів. Для їх виготовлення можна використати пристрій, який пропонується авторами [8].

При розрахунках основних параметрів гвинтових пружинних екструдерів необхідно



враховувати особливості їх конструкцій, технологію виробництва і процес їх роботи.

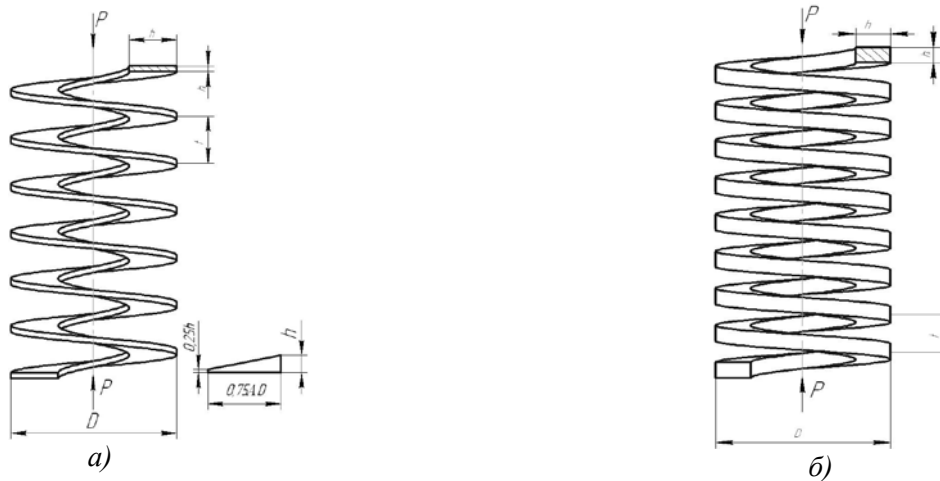


Рис. 1. Конструкції пружин: а – прямокутного і б – квадратного поперечного перерізу

При розрахунках основних параметрів гвинтових пружинних екструдерів необхідно враховувати особливості їх конструкцій, технологію виробництва і процес їх роботи.

Одним із домінуючих конструктивних факторів, який впливає на витрати потужності для приводу екструдера і його продуктивність, є товщина витка (ширина витка) пружини h_b . Збільшення товщини витка призводить до збільшення витрат потужності та до зменшення зворотного потоку корму через зазор між внутрішньою поверхнею циліндра і зовнішньою поверхнею витка робочого органу. Авторами [2, 6] пропонується ширину витка робочого органу приймати виходячи із співвідношення:

$$h_b = (0,06 \dots 0,10)D, \quad (1)$$

де D – діаметр шнека, мм.

Згідно [5], зазор між внутрішньою поверхнею корпуса екструдера та витками пружинного шнека рекомендують вибирати в таких межах

$$\delta = (0,002 \dots 0,005)D. \quad (2)$$

Частота обертання робочого органу впливає на продуктивність, із її збільшенням продуктивність екструдера зростає. Критичну частота робочого органу $n_{кр}$ можна визначити із співвідношення [5]

$$n_{кр} = \frac{42,4}{60\sqrt{D}}, c^{-1} \quad (3)$$

Для підтримки температури нагріву матеріалу в зоні стискання кормової суміші робоча частота обертання шнека має бути меншою за критичну і її необхідно вибирати виходячи із залежності [2]:

$$n_p = (0,2 \dots 0,7)n_{кр}. \quad (4)$$

Об'ємна продуктивність екструдера залежить від його геометричних параметрів, конструкції шнека та частоти його обертання і конструктивних особливостей формувальної головки.

За конструктивним виконанням робочого органу екструдери бувають:

- з постійними геометричними параметрами;
- із змінним кроком робочого органу;
- із змінною глибиною робочого органу.

Для екструдера з постійними геометричними параметрами об'ємну продуктивність можна визначити за формулою:

$$Q_n = \frac{\pi D h h_b K n (t - i_3 h_b) \cos^2 \gamma}{K h_b l + h_b h^3 (t - i_3 h_b) \sin 2\gamma + \pi^2 D^2 \delta^3 \operatorname{tg} \gamma \sin \gamma}, \quad (5)$$

де h – глибина гвинтового каналу робочого органу, м; t – крок робочого органу, м; i_3 – кількість заходів робочого органу; l – довжина робочої зони робочого органу, м; h_b – ширина гребня



пружинного елемента, м; γ – кут нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру, $tg\gamma = \frac{t}{\pi D}$; K – коефіцієнт, який характеризує геометричні параметри форми головки, м³; n – частота обертання робочого органу, с⁻¹.

Якщо робочий орган екструдера має змінний крок, то його об'ємну продуктивність можна визначити за формулою:

$$Q_v = \frac{3\pi^3 \cdot D \cdot h \cdot K \cdot h_b (D-h)^2 \cdot [\pi(D-h) + \Delta t] \cdot n}{12\pi \cdot K \cdot \psi_3 \cdot \psi_2 \cdot h_b \cdot (D-h) \cdot [\pi(D-h) + \Delta t] + h_b \cdot (D-h) \cdot [\pi(D-h) + \Delta t] + 4\pi \cdot \psi_2}, \quad (6)$$

де ψ_2, ψ_3 – коефіцієнти, які характеризують конструкцію робочого органу із змінним кроком; Δt – відносна різниця кроків між витками суміжних секцій робочого органу, $\Delta t = \frac{t_1^2 - t_2^2 - t_3^2}{3l_p - (t_1 - t_2 - t_3)}$; l_p –

загальна довжина гвинтової пружинної спіралі, м; t_1, t_2, t_3 – крок гвинтових секцій робочого органу, м.

Для екструдера із змінною глибиною робочого органу об'ємну продуктивність можна визначити за формулою:

$$Q_v = \frac{\pi^3 (t - h_1) \left[2h_2 (h_1 - h_2) - 6.9 D h_2 \lg \frac{h_2}{h_1} + D^2 (h_1 - h_2) \right] D^2 h_2 \cdot 5\phi h_1 \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}}{\left\{ 2D^3 h_1^2 (h_1 - h_2) - 6.9 D^3 h_2^2 \lg \frac{h_2}{h_1} + D^2 (h_1 - h_2) h_2 + t^2 \left[2D^3 h_1^2 (h_1 - h_2) - 4.6 D h_2^2 \lg \frac{h_2 (D+d_2)}{h_2 (D+d_1)} + (h_1 - h_2) 2h_2 (h_1 + h_2) D^2 \right] \right\}} \cdot n, \quad (7)$$

де d_1 та d_2 – середній діаметр робочого органу відповідно в зоні завантаження та вивантаження, м; h_1 – глибина гвинтового каналу робочого органу на початку зони дозування, м; h_2 – глибина гвинтового каналу робочого органу в зоні завантаження, м; h_3 – глибина гвинтового каналу робочого органу в зоні вивантаження, м.

Потужність, яка витрачається на привід гвинтового екструдера можна визначити за залежністю:

$$N = K_1 Q_p \varphi, \quad (8)$$

де K_1 – комплексний коефіцієнт, який враховує умови екструзії та конструктивні особливості екструдера; p – тиск в зоні формування кормової суміші; φ – коефіцієнт заповнення міжвиткового простору.

Сумарний обертовий момент на валу екструдера:

$$M = 0,25 P K_1 D_c t g(\varphi_1 + \gamma), \quad (9)$$

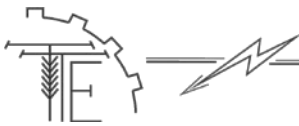
де P – сумарна осьова сила, що діє на витки в зоні екструзії; D_c – діаметр центру тяжіння кормової суміші в екструдері; φ_1 – кут тертя.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено аналітичні співвідношення, які дозволяють визначити параметри екструдера та його об'ємну продуктивність в залежності від варіанта виконання робочого органу.

Список літератури

1. Технологичность конструкций изделий: Справочник // [Амиров Ю. Д. и др.]; Под. ред. Ю. Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1985. – 217 с.
2. Классен Н.П. Гранулирование [Текст] / Н.П. Классен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин, - М.: Химия, 1991. – 240 с.
3. Гевко Б.М. Технология изготовления спиралей шнеков [Текст] / Б.М. Гевко, – Изд. при Львовском гос. у-те. “Вища школа” 1986. – 125с.
4. Пилипець М.І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / М.І. Пилипець. – Львів, 2002. – 35 с.
5. Штефан С.В. Информационная технология проектирования техно-логического оборудования для механической обработки дисперсных материалов [Текст] / С.В. Штефан // Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технологии, оборудование. – 2002. – Вып. 12. – С.72-78.
6. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун // – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 278 с.
7. Штефан С.В. Використання методів математичного моделювання для проектування вузлів преса-гранулятора [Текст] / С.В.Штефан, Д.В. Риндюк // Механіка та інформатика: III-я Міжнар. конф. молодих



вчених.: збірник стат. – Хмельницький, 2005. – С. 172 - 175.

8. Патент на корисну модель № 106084. Україна, МПК(2016.01) F16F 1/00, B21F 35/00. Пристрій для навивання пружин екструдерів / Ляшук О.Л., Сокіл М.Б., Дзюра В.О., Третяков О.Л., Дмитренко В.П., Навроцька Т.Д. (Україна). – u201511346. Заявл. 17.11.2015.; Опубл. 11.04.2016 р., Бюл. № 7.- 6с.

References

1. Tekhnologichnosti konstruksiy izdeliy: Spravochnik // [Amirov YU.D. i dr.]; Pod. red. YU. D. Amirova. - M.: Mashinostroyeniye, 1985. - 217 s.
2. Klassen N.P. Granulirovaniye [Tekst] / N.P. Klassen, I.G. Grishayev, I.P. Shomin - M.: Khimiya, 1991. - 240 s.
3. Gevko B.M. Tekhnologiya izgotovleniya spiraley shnekov [Tekst] / B. Gevko, - Izd. pri L'vovskiy gos. v-ye. "Vysshaya shkola" 1986 - 125s.
4. Pylypets M.I. Naukovo-tekhnologichni osnovy vyrobnytstva navyvnykh zahotovok detaley mashyn: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupeniv doktr. nauk: spets. 05.02.08 «Tekhnologiya mashynobuduvannya» / M.I. Pylypets. - Lviv, 2002. - 35 s.
5. Shtefan Ye.V. Informatsionnaya tekhnologiya proyektirovaniya tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya mekhanicheskoy obrabotki dispersnykh materialov [Tekst] / Ye.V. Shtefan // Obrabotka dispersnykh materialov i sred. Teoriya, issledovaniya, tekhnologii, oborudovaniye. - 2002. - Vyp. 12. - S.72-78.
6. Naukovo-Prykladni osnovy sozdannya Hvyntove transportno-tekhnologichnykh mekhanizmiv / R.M. Rohatynskyy, I.B. Hevko, A.YE. Dyachun // - Ternopil: TNTU imeni Ivana Pulyuya, 2014. - 278 s.
7. Shtefan YE.V. Vykorystannya metodiv matematychnoho modelyuvannya dlya proektuvannya vuzliv presa-hranulyatora [Tekst] / YE.V.Shtefan, D.V. Rindyuk // Mekhanika ta informatyka: III-ya Mizhnar. konf. molodykh vchenykh.: zbirnyk stat. - Khmelnytsky, 2005. - S. 172 - 175.
8. Patent na korysnostey model № 106084. Ukrayina, MPK (2016.01) F16F 1/00, B21F 35/00. Prystriy dlya navyvannya pruzhyn ekstruderiv / Lyashuk O.L., Sokil M.B., Dzyura V.O., Tretyakov O.L., Dmytrenko V.P., Navrotska T.D. (Ukrayina). - U201511346. Zayavl. 17.11.2015.; Opubl. 11.04.2016 r., Byul. № 7.- 6s.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРУЖИННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ЭКСТРУДЕРА

Аннотация: приведены аналитические зависимости, позволяющие определить параметры экструдера с пружинным рабочим органом и его объемную производительность.

Ключевые слова: экструдер, рабочий орган, производительность.

THEORETICAL GROUNDING OF HELICAL SPRING DESIGN OF WORKING BODY OF SCREW EXTRUDER

Summary: analytical dependences for determining of parameters of screw extruder with spring working body and its volume performance are given in the article.

Keywords: extruder, a working organ performance.