

В.І. ОСИПЕНКО, О.О. СИТНИК
 Черкаський державний технологічний університет
 О.І. НЕКОЗ
 Національний університет харчових технологій, м.Київ
 Н.В. ФІЛІМОНОВА
 Черкаський державний технологічний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ТЕХНІЧНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСТРУДЕРІВ

Розроблено критерій оцінки екструдерів харчової та переробної промисловості. Визначено, що найбільш перспективним з точки зору подальшого вдосконалення є одношнековий екструдер. На основі аналізу принципу дії та конструктивних особливостей одношнекових екструдерів запропоновано систему комплексного вдосконалення їх конструкції. Запропоновані зміни дозволяють покращити технологічні, експлуатаційні та конструктивні показники цих машин. Результати роботи можуть бути використані для підвищення технічного рівня вітчизняних та закордонних моделей екструдерів.

The criterion of estimation of extruders of food retail and processing industry is developed. Certainly, that most perspective from the point of view subsequent perfection is a single-screw extruder. On the basis of analysis of principle of action and structural features of single-screw extruders the system of complex perfection of their construction is offered. The offered changes allow to improve the technological, operating and structural indexes of these machines. Job performances can be used for the increase of technical level of domestic models of extruders.

Ключові слова: екструдер, вдосконалення, покращення показників, одношнековий,

Постановка проблеми

Добре відомо, що екструдер, внаслідок комплексної інтенсивної дії на сировину, що обробляється, поєднує функції декількох технологічних установок, забезпечуючи високу ефективність та рентабельність процесу. Але на сучасному етапі розвитку, більшість дослідників відрізняють ряд недоліків, характерних для даного виду технологічного устаткування. Найбільш вагомими, безумовно, є висока енергоємність процесу, низька довговічність та відносно висока вартість окремих елементів конструкції. Навіть часткове розв'язання вказаних проблемних задач дозволить підвищити технічний рівень екструдерів і, зважаючи на їх широке використання, заощадити значні матеріальні ресурси.

На сьогоднішній день відомо декілька типів конструкцій екструдерів, які істотно відрізняються принципом дії та технологічними властивостями. Зрозуміло, що доцільно вдосконалювати той тип конструкції, який забезпечує найбільшу ефективність процесу екструдювання. Але обґрунтоване порівняння відомих конструкцій ускладнене через те, що на даний час відсутні адекватні критерії оцінки та недостатньо систематизовано відомості про властивості конструкцій.

Аналіз джерел

Аналіз техніки й технології екструдювання вітчизняних і закордонних виробників дозволив систематизувати найважливіші типи цих машин [1] і класифікувати їх за різними технічними та технологічними ознаками.

За типом основного робочого органу екструдери класифікуються так: валкові, шестерінчасті, гвинтові, шнекові, дискові, поршневі, комбіновані. Найбільшого поширення набули саме шнекові екструдери, які можуть бути одно-, дво- та багатошнековими.

Двошнекові екструдери класифікуються за конструктивним виконанням: стаціонарні, із обертовим корпусом, із обертовим шнеком, із горизонтальним шнеком, із вертикальним шнеком, із зворотно-поступальним рухом шнеку. За частотою обертання шнеку виділяють нормальні та швидкохідні екструдери. За довжиною шнеку відрізняють коротко-ствольні ($L/d \approx < 5 \div 1$), середньо-ствольні ($L/d \approx 10 \div 5$) та довгоствольні ($L/d \approx 30 \div 10$). За робочим тиском у передматричній зоні: низького тиску (до 2 МПа), середнього тиску (до 5 МПа) та високого тиску (до 25 МПа). За термодинамічними властивостями розрізняють автогенні, ізотермічні та політропні екструдери.

Найбільшого розповсюдження у виробництві кормів та харчової продукції набули одношнекові екструдери. Види конструкцій їх окремих деталей також відрізняються істотною різноманітністю: корпус шнекового механізму може бути циліндричним або конічним; внутрішня нарізка корпусу – прямолінійною або спіральною, такою, що співпадає із напрямком спіралі шнеку або зворотною; шнек – одно- або багатозаходним, із витками непереривними та такими, що мають проточки, може бути наявний компресійний затвор, крок спіралі шнеку – постійний або змінний; форма міжвиткових каналів шнеку – прямокутна, несиметрична, напівеліптична, із постійною або із перемінною площею перерізу; матриця – круглою або прямокутною, із одним або із декількома формуючими каналами, із меріодинальною нарізкою на внутрішній поверхні.

У відомих джерелах не наведено ґрунтовного порівняльного аналізу вказаних видів конструкцій, відсутній вибір найбільш перспективної з них та не вказано можливих подальших шляхів розвитку екструзійного обладнання. Відсутність перспективних напрямків вдосконалення екструдерів у відомих роботах можна пояснити відсутністю детального визначення проблемних задач конструкторського та

наукового спрямування, вирішення яких дозволить підвищити технічний рівень екструдерів.

Основна частина

Метою даної статті є: розробка комплексного критерію оцінки ефективності конструкцій екструдерів, визначення перспективних напрямків їх вдосконалення. Комплексний критерій оцінки конструкцій екструдера зручно представити у вигляді, який дозволить оперувати не кількісними, а якісними показниками, що, на відміну від методики [2], сприятиме виявленню найбільш раціональної концептуальної схеми екструдера, придатної до подальшого вдосконалення. Доцільно відобразити в критерії оцінки складові, що відображатимуть технологічні, експлуатаційні та конструктивні якості екструдерів. Враховуючи різний вплив, що здійснюють вказані складові на отримуваний від експлуатації екструдера економічний ефект, доцільно відобразити різну питому вагу даних компонентів у загальному значенні критерію оцінки.

Враховуючи наведене, пропонуємо в якості комплексного критерію оцінки наступний вираз:

$$K_{КОЦ} = 1,0K_T + 0,75K_E + 0,25K_K,$$

де K_T – коефіцієнт, що враховує технологічні показники;
 K_E – коефіцієнт, що враховує експлуатаційні показники;
 K_K – коефіцієнт, що враховує конструктивні показники.

В свою чергу вказані коефіцієнти розраховуються наступним чином. Коефіцієнт, що враховує технологічні показники:

$$K_T = 0,25(K_m + K_{подр} + K_t + K_{пер}),$$

де K_m – показник величини тиску обробки сировини, що може розвиватись екструдером ($K_m=1$ при значенні тиску, що дорівнює мінімально необхідному для проведення робочого процесу, $K_m=0,5$ при недостатньому значенні, $K_m=1,5$ при значенні тиску, що суттєво перевищує мінімально необхідне для проведення робочого процесу); $K_{подр}$ – показник ефективності та якості подрібнення сировини ($K_{подр}=1$ при задовільному значенні ефективності подрібнення, $K_{подр}=0,5$ при недостатній якості та зависокій енергоємності подрібнення сировини, $K_{подр}=1,5$ при високій якості та низькій енергоємності подрібнення); K_t – показник величини температури нагріву сировини, що може розвиватись екструдером без додаткових нагрівальних пристосувань ($K_t=1$ при задовільному значенні температури, $K_t=0,5$ при недостатній інтенсивності нагріву, $K_t=1,5$ при значенні температури, що суттєво перевищує мінімально необхідне для проведення робочого процесу); $K_{пер}$ – показник ефективності та якості перемішування сировини ($K_{пер}=1$ при задовільному значенні ефективності перемішування, $K_{пер}=0,5$ при недостатній ефективності перемішування сировини, $K_{пер}=1,5$ при малій тривалості та високій якості перемішування).

Коефіцієнт, що враховує експлуатаційні показники: $K_E = 0,5(K_{зн} + K_{оч})$, де $K_{зн}$ – показник величини зношування робочих органів екструдера ($K_{зн}=1$ при задовільному значенні величини зношування, $K_{зн}=0,5$ при високій інтенсивності зношування та великій кількості швидкозношуваних деталей, $K_{зн}=1,5$ при низькій інтенсивності зношування та малій кількості швидкозношуваних деталей); $K_{оч}$ – показник зручності та тривалості очищення робочої зони екструдера ($K_{оч}=1$ при задовільних зручності та тривалості очищення, $K_{оч}=0,5$ при високій тривалості та низькій зручності очищення, $K_{оч}=1,5$ при низькій тривалості та високій зручності очищення).

Коефіцієнт, що враховує конструктивні показники: $K_K = 0,5(K_{нагр} + K_{звол})$, де $K_{нагр}$ – показник простоти конструкції додаткових нагрівальних пристроїв ($K_{нагр}=1$ при задовільній простоті конструкції, $K_{нагр}=0,5$ при низькій конструктивній простоті, $K_{нагр}=1,5$ високій конструктивній простоті встановлення додаткових нагрівальних пристроїв); $K_{звол}$ – показник конструктивної простоти встановлення додаткових зволожувальних пристроїв та ефективності зволоження сировини ($K_{звол}=1$ при задовільних конструктивній простоті та ефективності зволоження, $K_{звол}=0,5$ при низькій конструктивній простоті та низькій ефективності зволоження, $K_{звол}=1,5$ при високих простоті конструкції встановлення додаткових зволожувальних пристроїв та ефективності зволоження сировини).

Кінцевий вигляд виразу по визначенню критерію оцінки:

$$K_{КОЦ} = 0,25(K_m + K_{подр} + K_t + K_{пер}) + 0,37(K_{зн} + K_{оч}) + 0,12(K_{нагр} + K_{звол})$$

Для апробації запропонованого комплексного критерію оцінки ефективності конструкцій екструдерів $K_{КОЦ}$ були виконані розрахунки для відомих базових типів наочності порівняльного аналізу відомих видів конструкцій екструдерів, результати представлені в таблиці 1.

Як видно з таблиці 1, найбільш високі значення критерію оцінки отримали одно- та двошнекові конструкції екструдерів, причому найбільше значення $K_{КОЦ}$ отримано для одношнекового екструдера. Це пояснюється, серед іншого, суттєво недостатньою ефективністю перемішування сировини та суттєвим зростанням складності конструкції двошнекового екструдера.

Таким чином, видом конструкції екструдера, найбільш перспективної для подальшого вдосконалення (або найбільш технічно досконалої на даний час), є саме одношнековий екструдер, який є найбільш поширеним у практичному використанні. З огляду на це було проведено системний аналіз конструкції одношнекового екструдера з метою визначення можливих напрямків її вдосконалення.

Значення критерію оцінки для різних видів конструкції екструдера

Вид конструкції екструдера	Значення компонент критерію оцінки								Загальне значення $K_{КОЦ}$
	K_m	$K_{подр}$	K_t	$K_{пер}$	$K_{зн}$	$K_{оч}$	$K_{нагр}$	$K_{звол}$	
Валковий	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,730
Шестеренний	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,0	0,5	0,5	1,545
Одношнековий	1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	1,5	1,5	1,915
Двошнековий	1,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,5	1,0	1,0	1,855
Дисковий	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,730
Поршневий	1,0	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,855*

* – дане високе отримане значення $K_{КОЦ}$ обумовлене неможливістю відобразити вкрай низьку ефективність перемішування та нагріву сировини для поршневих екструдерів при прийнятих значеннях складових компонент.

** – значення компонентів наведено за даними конструкторського відділу ЗАТ «Черкасиелеватормаш».

Одним з найбільш ефективних методів пошуку резервів розвитку технічних об'єктів є, як відомо, функціонально-вартісний аналіз. Він передбачає порівняння функціональної значущості деталі або елемента та вартістю її виготовлення, тобто стає можливим виявити невиправдано високі витрати на виготовлення елементів технічної системи. Також стає можливим виявлення випадків дублювання одних і тих самих функцій декількома різними елементами, випадки недостатньої ефективності виконання функцій або надлишкової ефективності. Все це в подальшому дозволяє проводити роботу зі «згортання» технічної системи, тобто – зменшення кількості її складових елементів без погіршення або із покращенням якості роботи.

Для аналізу було обрано конструкцію робочої камери екструдерів моделей Е-150 та Е-250 марки BRONTO, які випускаються ЗАТ «Черкасиелеватормаш» [3]. Дані моделі були обрані з огляду на їх широке розповсюдження на вітчизняному ринку, ринках країн СНД та Латинської Америки. Схему робочої камери екструдера представлено на рис. 1,а.

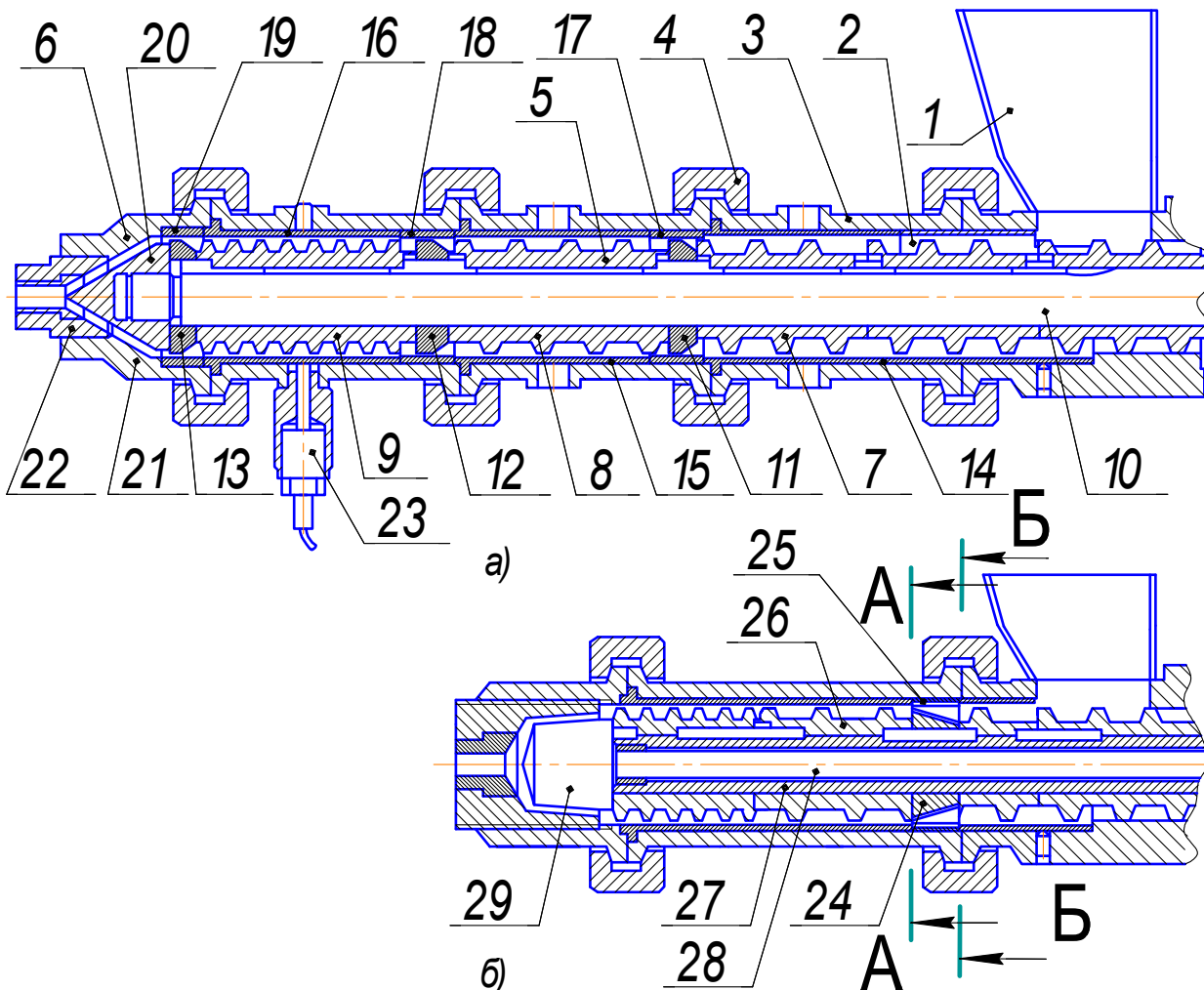


Рис. 1. Схема робочої камери екструдера BRONTO:

а) за серійною конструкцією; б) за комплексно-модернізованою конструкцією: 1 – завантажувальне вікно; 2 – робочий циліндр; 3 – корпус; 4 – хомут; 5 – шнек; 6 – філь'єра; 7, 8, 9 – гвинти; 10 – вал; 11, 12, 13 – шайби; 14, 15, 16 – гільзи; 17, 18, 19 – кільця; 20 – наконечник; 21 – матриця; 22 – отвір; 23 – термодатчик; 24 – ножовий ротор; 25 – ножовий статор; 26 – гвинт із наскрізними пазами; 27 – вал; 28 – швидкохідний вал; 29 – наконечник із малою конусністю

Аналіз проводився згідно [4]. В контексті поставленої в даній роботі мети ранжування функцій проводилось без урахування та визначення нейтральних і допоміжних функцій, як вищого так і нижчого порядків. Також не враховувалась та не обчислювались у кількісному вимірюванні: функціональна значимість, трудомісткість виготовлення та матеріаломісткість деталей, ступені неспокійності при виготовленні та експлуатації, умовна сумарна оцінка. Неврахування даних показників обумовлене самою метою роботи – визначити шляхи вдосконалення екструдерів, тоді як оперування кількісними показниками передбачає аналіз конкретних конструктивних рішень (наявність та вид кріпильних та фіксуючих поверхонь, вид зміцнювальної обробки, вибір марки матеріалу та інше), які можна рахувати другорядними.

В таблиці 2 представлено ранжування функцій елементів робочої камери екструдера. Для кожного виду функції вказується рівень її виконання щодо ефективності робочого процесу: А – адекватний (може підлягати коригуванню); Н – недостатній (підлягає обов'язковому коригуванню); З – занадто високий (надлишковий, який також може підлягати коригуванню в окремих випадках). Користуючись даними таблиці 2 можна визначити особливості роботи елементів робочої камери.

Таблиця 2

Ранжування функцій елементів робочої камери екструдера

Деталь та її елементи		Види функцій та їх сутність, (рівень виконання функції)		
		1. Основна	2. Додаткова	3. Шкідлива
1		2	3	4
Гвинт № 7	бік витка	1.1 Подавати сировину, (А)	2.1 Нагрівати сировину, (Н)	3.1 Зношування, (З)
	торець витка	1.2 Шлюзування, (А)	2.2 Нагрівати сировину, (Н)	3.2 Зношування, (З)
Шайба № 11	фаска	1.3 Подрібнювати сировину, (А)	2.3 Нагрівати сировину, (Н)	3.3 Зношування, (З) 3.4 Опір, (З)
	твірна	1.4 Нагрівати сировину, (А)	2.4 Подрібнювати сировину, (Н)	3.5 Зношування, (З) 3.6 Опір, (З)
Кільце № 17		1.5 Транспортувати сировину, (А)	2.5 Подрібнювати сировину, (Н) 2.6 Нагрівати сировину, (Н)	3.7 Зношування, (З)
Гільза № 14		1.6 Транспортувати сировину, (А)	2.7 Нагрівати сировину, (Н)	3.8 Зношування, (З)
Гвинт № 8	бік витка	1.7 Подавати сировину, (А)	2.8 Перемішувати сировину, (Н) 2.9 Нагрівати сировину, (Н)	3.9 Зношування, (З)
	торець витка	1.8 Шлюзування, (А)	2.10 Нагрівати сировину, (Н)	3.10 Зношування, (З)
Шайба № 12	фаска	1.9 Подрібнювати сировину, (А)	2.11 Нагрівати сировину, (Н)	3.11 Зношування, (З) 3.12 Опір, (А)
	твірна	1.10 Нагрівати сировину, (А)	2.12 Подрібнювати сировину, (Н)	3.13 Зношування, (З) 3.14 Опір, (А) 3.15 Відведення тепла, (З)
Кільце № 18		1.11 Транспортувати сировину, (А)	2.13 Подрібнювати сировину, (Н) 2.14 Нагрівати сировину, (Н)	3.16 Зношування, (З) 3.17 Відведення тепла, (З)
Гільза № 15		1.12 Транспортувати сировину, (А)	2.15 Нагрівати сировину, (Н)	3.18 Зношування, (З) 3.19 Відведення тепла, (З)
Гвинт № 9	бік витка	1.13 Подавати сировину, (А)	2.16 Нагрівати сировину, (Н)	3.20 Зношування, (З)
	торець витка	1.14 Шлюзування, (А)	2.17 Нагрівати сировину, (Н)	3.21 Зношування, (З) 3.22 Відведення тепла, (З)
Шайба № 13	фаска	1.15 Подрібнювати сировину, (Н)	2.18 Нагрівати сировину, (Н)	3.23 Зношування, (З) 3.24 Опір, (А)
	твірна	1.16 Нагрівати сировину, (Н)	2.19 Подрібнювати сировину, (Н)	3.25 Зношування, (З) 3.26 Опір, (А) 3.27 Відведення тепла, (З)
Кільце № 19		1.17 Транспортувати сировину, (А)	2.20 Подрібнювати сировину, (Н) 2.21 Нагрівати сировину, (Н)	3.28 Зношування, (З) 3.29 Відведення тепла, (З)
Гільза № 16		1.18 Транспортувати сировину, (А)	2.22 Нагрівати сировину, (Н)	3.30 Зношування, (З) 3.31 Відведення тепла, (З)

		1	2	3	4
Наконечник № 20	основа	1.19 Нагрівати сировину, (А)	2.23 Транспортувати сировину, (А)	3.32 Зношування (З) 3.33 Опір (З)	
	вершина	1.20 Нагрівати сировину, (Н)	2.24 Транспортувати сировину, (А)	3.34 Зношування, (З) 3.35 Опір, (З) 3.36 Відведення тепла, (З)	
Філь'єра № 6	матриця	1.21 Спресовувати сировину, (А)	2.25 Компенсувати зношування наконечника, (А)	3.37 Відведення тепла, (З)	
	отвір	1.22 Калібрувати сировину, (А)	2.26 Спресовувати сировину, (А)	3.38 Відведення тепла, (З)	

Так, загалом, гвинти виконують декілька функцій – транспортування, перемішування, нагрів, пресування. Але кожен із гвинтів має різне питоме співвідношення рівня виконання вказаних функцій: основне призначення гвинта 7 – подолання опору шайби 11; гвинт 8 перемішує сировину та долає опір шайби 12; а гвинт 9 – пресує сировину та нагріває її.

Заслугує уваги класифікація функцій шайб: шайба 11 в основному виконує попереднє подрібнення сировини; шайба 12 – кінцеве подрібнення та нагрівання; шайба 13 – тільки нагрівання.

Цікавим є аналіз роботи наконечника 20: ефективність нагріву сировини поверхнею наконечника різко знижується у напрямку від основи конуса до його вершини внаслідок суттєвого зниження значення лінійних швидкостей точок бокової поверхні через зменшення радіусів обертання. Ця ж причина обумовлює суттєво меншу ефективність нагріву сировини наконечником 20 у порівнянні із шайбою 13, не дивлячись на значно більшу металоємність наконечника 20.

Відмітною особливістю є мало-інтенсивний нагрів сировини під час її руху по всій довжині робочої камери. Тобто – через низьку ефективність нагріву необхідно задіювати значну кількість елементів конструкції – шайби 11,12,13, наконечник 20, гвинти. Це призводить і до втрати пари із зон нагріву, оскільки їх протяжність значна, а шлюзування сировиною на початкових ділянках – недостатнє. Додатково погіршує умови нагріву сировини функція, що властива деталям усієї робочої камери, – інтенсивне відведення тепла шляхом теплопровідності, причому на ділянці значної довжини.

Це ж саме стосується і перемішування сировини – задля належної ефективності процесу стає необхідним використовувати шнек 5 значної довжини. Ще одна особливість – необхідність долати значний опір між шайбами на усіх ділянках робочої камери. Це є головною причиною значної довжини гвинтів 7,8,9, як окремих деталей, а, як наслідок, – усього шнеку 5.

Загальним недоліком усіх елементів робочої камери є їх інтенсивне механічне зношування, що призводить до значних експлуатаційних витрат. Слід виділити зношування шайб № 2 та № 3: внаслідок того, що основна поверхня, призначена для нагріву сировини, – циліндрична при її зношуванні відбувається збільшення зазору, тобто – збільшується товщина шару сировини, погіршується її нагрів. З цієї причини довговічність шайб невисока, причому металоємність шайби, яка вичерпала свій ресурс використання, значно більша за об'єм металу, втрачений при зношуванні. Так, згідно [3], при зношуванні шайби на 0,5 мм на радіус проводиться заміна шайби, оскільки недопустимо погіршується нагрів сировини. Враховуючи, що при такому зношуванні утилізується близько 90 % початкового об'єму шайби, експлуатаційні витрати на виготовлення шайб слід вважати невиправдано високими.

Авторами в даній роботі за мету (за критерій досконалості конструкції екструдера) було взято максимальне зменшення довжини робочої камери, тобто – різке зменшення кількості та металоємності робочих органів екструдера (результат представлено на рис. 1,б) одночасно із забезпеченням високої якості обробки сировини.

Для того, щоб різко скоротити довжину шнеку 5 необхідно збільшити рівень виконання функцій його елементів (інтенсифікувати їх роботу). Так шайба 11, виконуючи попереднє подрібнення сировини не оптимальним способом, обумовлює необхідність гвинту 7 долати значний опір. Збільшивши рівень виконання функції 1.3 та передавши функції 1.4 та 2.4 шайбі 12 (як такій, що виконує остаточне подрібнення), можна досягти зменшення гідравлічного опору зазору шайби 11 і, як наслідок, зменшення довжини гвинта 7. З цією метою доцільно замінити пару «шайба 11 – кільце 17» ножовим подрібнювачем, який містить конічний ножовий ротор 24 та циліндричний ножовий статор 25, робочий зазор поміж різальними елементами яких зменшується у напрямку руху сировини (рис. 2,а). Завдяки використанню ножового подрібнювача можна досягти значного зменшення зусилля руйнування зерен сировини, оскільки напруження об'ємного стиснення замінюються на напруження зрізу. А завдяки передачі функцій 1.4 та 2.4 можливо досягти зменшення значного гідравлічного опору руху сировини в каналі, що створюється циліндричною поверхнею шайби 11 та кільцем 17.

Довжину гвинта 8 можна зменшити інтенсифікувавши функцію 2.8. Для підвищення ефективності перемішування сировини необхідно інтенсифікувати відносно зміщення її шарів. Сприятливі цьому може виконання наскрізних пазів на витках гвинта (рис. 2,б). Крізь пази більш текуча фракція сировини буде прямувати у бік меншого гідравлічного опору, тобто у бік, протилежний до подачі. Це і призведе до більш інтенсивного відносного зміщення шарів сировини [5].

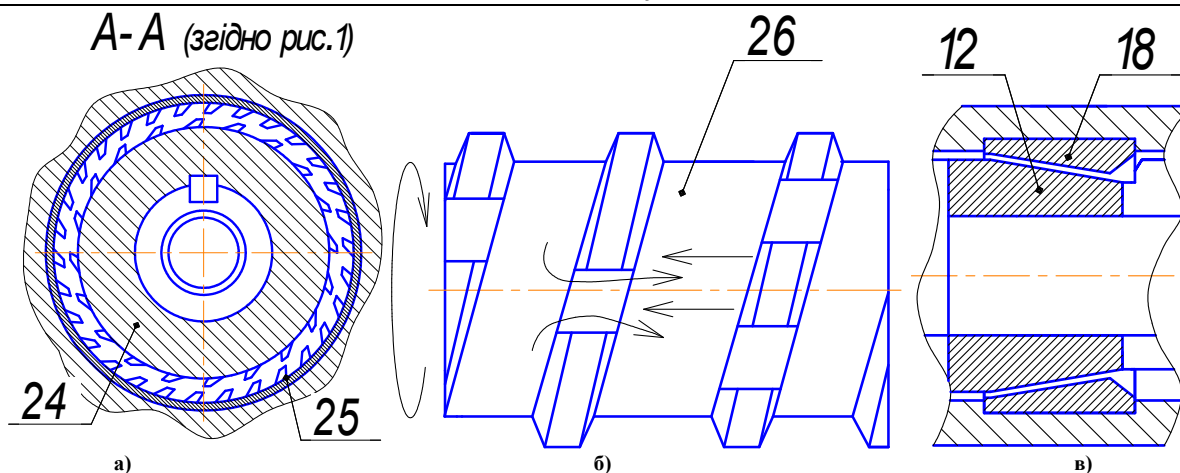


Рис. 2. Робочі органи екструдера модернізованої конструкції:
 а) вузол попереднього подрібнення із ножовим ротором 24 і ножовим статором 25; б) гвинт 26 із наскрізними пазами;
 в) вузол нагрівання із можливістю компенсації зношування шайби 12

Збільшити значення рівня виконання функції 3.13 можна забезпечивши можливість компенсації збільшення зазору між шайбою 12 і кільцем 18 внаслідок зношування. Цього можна досягти шляхом виконання усієї бокової поверхні шайби 12 та внутрішньої поверхні кільця 18 конічними, причому такими, щоб рух сировини під дією шнеку 5 відбувався від меншої основи конусу шайби 12 до його більшої основи (рис. 2,в). При такому конструктивному виконанні вказаних деталей можливе проведення наступних робіт при експлуатації: через визначену кількість робочих змін, при заданому значенні зношування бокових поверхонь шайби 12 та кільця 18, оператор при черговому розкладанні робочої камери знімає шайбу 12 після чого проводиться зішліфовування її меншого торцю на визначену величину. Внаслідок цього, після складання шнеку 5 та фіксації усіх його складових елементів гайкою (наконечником 20), відбувається зміщення положення шайби 12 відносно кільця 18 в напрямку зменшення робочого зазору між ними. Завдяки таким конструктивним змінам можливо досягти підвищення фактичної довговічності шайби 12 у декілька разів, що буде визначатись висотою зрізаного конусу.

Прискорити нагрів сировини можна забезпечивши інтенсивний механічний вплив (силами тертя) на сировину на короткій ділянці робочої камери, тобто – із використанням обмеженої кількості елементів робочої камери, але – при рівні виконанні їх функцій (3). З цієї метою функції 1.4, 1.10, 1.16, 2.18 доцільно передати наконечнику 20. В такому разі підвищення рівня виконання функцій 1.19, 1.20 повинно бути значним. Забезпечити його можна двома шляхами: підвищити лінійну швидкість точок поверхні наконечника та підвищити їх кутову швидкість. Перший напрямок забезпечується виконанням наконечника 20 у вигляді ступінчастого конусу 29 (рис. 1,б). В такому разі ефективність нагріву сировини поверхнею конуса збільшиться у 2–3 рази, що дасть змогу позбутися функцій 1.16, 2.18, та їх носія – шайби 13. Другий напрямок забезпечується збільшенням частоти обертання наконечника 20 по відношенню до шнеку 5. Цього можна досягти, застосувавши кінематичну схему, подібну до кінематичної схеми м'ясорізного вовчка К6-ФВП-160 та ін. В ній передбачено роздільний привод шнеку 5 та наконечника 29, завдяки встановленню гвинтів на пустотілий вал 27, а наконечника 20 – на швидкохідний вал 28. Додатково використовуються підшипникові опори 30 та ведений шків 31, який має діаметр, менший за діаметр веденого шківа 32, з'єднаного із пустотілим валом 27 (рис. 3). Внаслідок цього стає можливим збільшити частоту обертання наконечника 20 у 2 та більше разів по відношенню до шнеку 5, інтенсифікувавши нагрів сировини. Стає можливим позбутися функцій 1.10, 2.11.

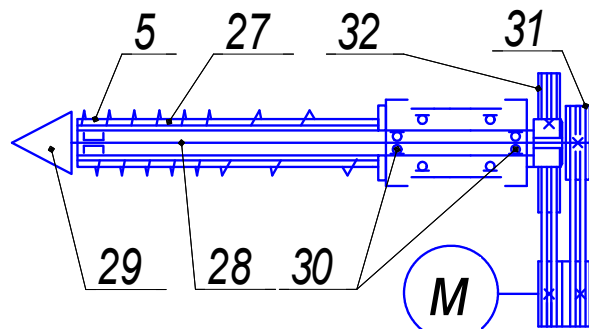


Рис. 3. Кінематична схеми екструдера із роздільним приводом шнеку 5 та швидкохідного валу 28

Для того, щоб позбутися шайби 12 залишається передати функцію 2.12 іншому елементу. Доцільно обрати для цього шайбу 11, як таку, що вже виконує функцію 1.3 (попереднє подрібнення). Але слід зазначити, що раціональним було б забезпечення виконання шайбою 11 функції 2.12 без надання їй додаткових конструктивних елементів та без збільшення опору подачі гвинтом 7. Цього можна досягти, використавши для попереднього та для кінцевого подрібнення принцип роботи конусної дробарки. Тобто замінивши використання шайби 11 або ножового подрібнювача на використання зрізаного конусу 36, ексцентрично розташованого по відношенню до шнеку 5 (рис. 4,а), або криволінійних скребків 37 (рис. 4,б). В такому разі можливе ефективне виконання попереднього та кінцевого подрібнення одним робочим органом простої конструкції, при чому – при створенні малого опору подачі сировини гвинтом 7.

Значне зниження ефективності нагріву сировини відбувається внаслідок наявності функцій 3.15,

3.17, 3.19, 3.22, 3.27, 3.29, 3.31, 3.36, 3.37, 3.38, що відображує відведення тепла по всій довжині робочої камери. Втрати тепла йдуть як на відведення у оточуюче середовище, так і на нагрів металоємних гільз, корпусів та гвинтів. Знизити рівень виконання вказаних функцій або забезпечити підвищення ефективності нагріву сировини можливо шляхом використання теплоізоляції грюючих поверхонь робочої камери. Але забезпечення теплоізоляції усіх поверхонь, що контактують із нагрітою сировиною, за серійною конструкцією ускладнене. Використання з даною метою елементів на зразок теплоізолюючих прокладок не вирішує проблему втрат тепла на нагрів гвинтів та гільз, а напилювання теплоізолюючого матеріалу на поверхні, що контактують із сировиною, економічно не вигідне через значну протяжність зони нагріву та через складну геометричну форму її поверхонь. Ефективне вирішення даної проблемної задачі можливе в контексті використання наконечника 20, який приводиться в рух за кінематичною схемою, що зображена на рис. 3.

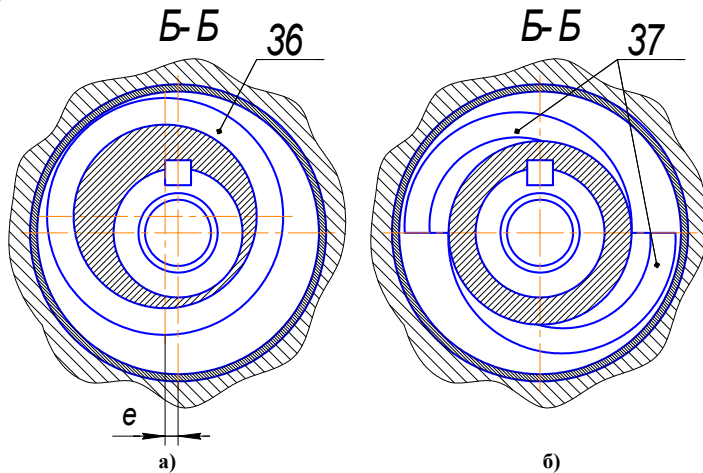


Рис. 4. Вузол екструдера для подрібнення сировини, що працює за принципом конусного млина: а) із ексцентрично розташованим конусом 36; б) із криволінійними скребками 37

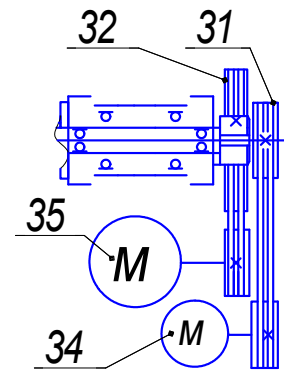


Рис. 5. Кінематична схема екструдера із індивідуальними приводами 34 і 35 шнеку 5 та швидкохідного валу 28

В такому разі, як вказувалось вище, поступовий нагрів на ділянці значної довжини замінюється на інтенсивний нагрів в локальній зоні. Таким чином, процес нагрівання сировини концентрується в робочому просторі між наконечником 20 та філь'єрою 6. В контексті розглядуваної задачі це дає змогу забезпечити теплоізоляцію нагрівальних поверхонь. З цією метою на зовнішню поверхню наконечника 20 та внутрішню поверхню філь'єри 6 доцільно нанести захисне металокерамічне покриття, наприклад – оксиду алюмінію Al_2O_3 , яке, як відомо, має коефіцієнт теплопровідності $20 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$, тоді як сталь має коефіцієнт теплопровідності порядку $70 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$. До того ж, таке захисне покриття володіє високою зносостійкістю, що в решті обумовлює значний економічний ефект від його використання. Концентрація зони нагріву сировини на ділянці пресування дозволяє уникнути втрат випаровуваної вологи, оскільки зона нагріву відокремлена від завантажувального вікна значним об'ємом підпресованої сировини.

Запропонована даній роботі кінематична схема (рис. 5) дозволяє надати екструдеру можливість автоматизованого переналагодження при переході на інший вид сировини. Це відбувається завдяки використанню окремих електродвигунів – двигуна 34, що приводить у рух шнек 5, та двигуна 35, що приводить у рух швидкохідний вал 28. За серійною конструкцією при переході на інший вид сировини задля підвищення температури слід замінити ведений шків на шків меншого діаметру та збільшити опір філь'єри шляхом заміни отвору 22 або зменшення зазору між філь'єрою 6 та наконечником 20. Але в такому разі одночасно із підвищенням температури нагріву знизиться продуктивність екструдера або занадто збільшиться енергоємність роботи. Причому переналагодження відбувається не механізовано, що викликає тривале простоювання машини. Також в такому разі неможливо адекватно реагувати на зміну температури середовища в приміщенні, де працює екструдер (при різних порах року), тоді як відомо [1], що залежно від виду сировини значення оптимальної температури робочого процесу коливається від 140° до 150° C . Застосування двох окремих електродвигунів 34 і 35 для приводу двох ведених шківів 32 і 31 (рис. 5) та частотного перетворювача в їх мережі живлення дозволяє вирішити обидві проблемні задачі: автоматизовано проводити переналагодження при переході на інший вид сировини та забезпечувати оптимальну температуру процесу незалежно від температури оточуючого середовища шляхом зміни частоти обертання наконечника 20 по відношенню до шнеку 5.

Запропоновані зміни в конструкції робочої камери екструдера дозволяють значно скоротити її довжину (рис. 1,б), обумовлюючи при цьому значний економічний ефект в капітальних та експлуатаційних витратах.

Суттєве зменшення довжини робочої камери значно знижує навантаження на підшипникові опори шпиндельного вузла внаслідок зменшення як ваги шнеку 5, так і відстані між центром його ваги та передньою підшипниковою опорою. Це дозволяє [6] суттєво скоротити відстань між підшипниковими опорами шпиндельних вузлів екструдерів. Цим знижується вартість шпиндельного вузла та зменшується габаритна площа екструдера.

Скорочення довжини шпindelного вузла для екструдерів Е-500 та Е-1000 дозволяє вирішити додаткову задачу – суттєво спростити конструкцію живильника: замінити живильний шнек і мотор-редуктор на віброток або зменшити удвічі довжину живильного шнеку та позбутися його передньої підшипникової опори.

Висновки

1. Запропоновано комплексний критерій оцінки ефективності конструкцій екструдерів. За розрахованими значеннями, найбільш ефективними є одно та двошнекові екструдери, причому значення критерію для одношнекового екструдера 1,92 вище за значення 1,85 для двошнекового екструдера. Таким чином, конструкцію одношнекового екструдера було обрано для подальшого аналізу та вдосконалення.

2. Проведено функціонально– вартісний аналіз робочої камери одношнекового екструдера. За отриманими результатами сформульовано проблемні задачі та запропоновані шляхи їх розв'язку.

3. Розроблені напрямки вдосконалення екструдерів дозволяють комплексно покращити цілу низку базових характеристик даних машин – технологічних, експлуатаційних, конструктивних, а саме:

- 1) значно зменшити кількість деталей робочої камери (гвинтів, гільз, корпусів та хомутів);
- 2) суттєво зменшити тривалість операції встановлення-зняття шнеку;
- 3) підвищити коефіцієнт використання матеріалу шайб;
- 4) підвищити довговічність наконечника;
- 5) підвищити економічну ефективність використання напилювання захисних покриттів на поверхні тертя;

6) усунути втрати пари із зони нагріву сировини;

7) забезпечити можливість механізованого переналагоджування інтенсивності нагріву для різних видів сировини;

8) забезпечити можливість ефективно проводити робочий процес незалежно від зміни температури у робочому приміщенні;

9) суттєво зменшити використовувану виробничу площу;

10) спростити конструкцію живильника.

Цим самим забезпечується суттєве зменшення капіталовкладень та експлуатаційних витрат при використанні екструдерів.

4. Запропоновані та обґрунтовані технічні рішення захищені поданими 5 заявками на видачу патентів України на винахід. Вони з успіхом можуть бути використані при модернізації екструдерів вітчизняних та закордонних моделей.

5. З аналізу отриманих результатів можливо зробити (на погляд авторів достатньо логічний та обґрунтований) висновок про те, що подальший розвиток та вдосконалення екструзійних технологій та обладнання, повинен спиратися на вирішення таких наукових задач:

1) теоретичні та експериментальні дослідження залежності параметрів та результатів процесу подрібнення від схеми та конструкції вузла подрібнення для різних видів та вологості сировини;

2) розробка математичних моделей та чисельне моделювання і оптимізація процесів перемішування сировини;

3) експериментальні дослідження чинників, що визначають інтенсивність зношування робочих органів та обґрунтований вибір найбільш ефективних методів підвищення їх довговічності;

4) теоретичні та експериментальні дослідження динаміки нагріву сировини в різних технологічних та технічних умовах екструзії.

Література

1. Ковбаса В.М. Наукове обґрунтування високотемпературної екструзії природних біополімерів та розроблення раціональних технологій харчо концентратів і хлібопродуктів підвищеної якості: автореф. дис. на здобуття наук. ступеню д-ра техн. наук: 05.18.01 / Ковбаса Володимир Миколайович. – Київ, УДУХТ, 1998. – 46 с.

2. Топольник В. Г. Количественная оценка качества оборудования общественного питания / В. Г. Топольник. – Донецк : Кассіопея, 1998. – 196 с.

3. Экструдер для зерна Е-1000 BRONTO: руководство по эксплуатации. – Черкасы : ЧеркасыЭлеваторМаш, 2010. – 31 с.

4. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа. Методические рекомендации / [В. М. Герасимов, В. С. Калиш, М. Г. Карпунин, А. М. Кузьмин, С. С. Литвин]. – М.: МП Информ-ФСА, 1991. – 22 с.

5. Максимов Д. А. Конструктивные особенности современных волчков / Д. А. Максимов, О. И. Якушев // М'ясна індустрія. – 2007. – № 11. – С. 42.

6. Соколов В. И. Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования / Соколов В. И. – М. : Машиностроение, 1970. – 422 с.

Надійшла 15.1.2011 р.