

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД
«ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

КАФЕДРА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ
РЕСТОРАННОГО І ТУРИСТИЧНОГО БІЗНЕСУ

СИЛАК СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

**ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕКСТРУДЕРА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНОГО ТА ВИСОКО
ЕФЕКТИВНОГО ПРОЦЕСУ ЕКСТРУДУВАННЯ КОРМІВ ДЛЯ
ТВАРИН**

**Кваліфікаційна робота
за спеціальністю 015.37 «Професійна освіта»
освітньо-професійна програма «Аграрне виробництво, переробка
сільськогосподарської продукції та харчові технології»**

Особистий підпис – _____ С. О. Силак

Науковий керівник –  _____ к.т.н., доцент, Д. В. Савенок
(підпис) (посада, науковий ступінь,
наукове звання, ініціали, прізвище)

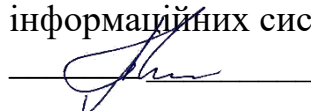
Зав. кафедри –  _____ к.п.н., доцент, В. В. Бурдун
(підпис) (посада, науковий ступінь,
наукове звання, ініціали, прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД
«ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

КАФЕДРА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ
РЕСТОРАННОГО І ТУРИСТИЧНОГО БІЗНЕСУ

Затверджую:

Декан факультету технологій та
інформаційних систем

 Могильний Г.А.

**Індивідуальний план здобувача вищої освіти
щодо виконання кваліфікаційної роботи**

1. Силак Сергій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)
2. Факультет технологій та інформаційних систем
3. Спеціальність «Професійна освіта. Аграрне виробництво, переробка сільськогосподарської продукції та харчові технології»
4. Кафедра професійної освіти ресторанного і туристичного бізнесу
5. Науковий керівник Савенок Дмитро Валерійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
6. Тема кваліфікаційної роботи
Оптимізація конструктивних характеристик екструдера для забезпечення якісного та високо ефективного процесу екструдювання кормів для тварин
7. Термін подання роботи на кафедру 08.05.2026 р.

<i>№</i>	<i>Заходи</i>	<i>Термін виконання</i>	<i>Відмітка про виконання</i>
1.	Вибір теми кваліфікаційної роботи, вивчення наукової літератури, затвердження теми й керівника.	10.10.2025	
2.	Розробка плану роботи, визначення мети, завдань, об'єкту, предмету, методів дослідження.	14.11.2025	
3.	Робота над теоретичною частиною кваліфікаційної роботи, аналіз літературних джерел.	05.12.2025	

4.	Подання теоретичної частини кваліфікаційної роботи для першого читання науковим керівником.	19.12.2025	
5.	Усунення зауважень, урахування рекомендацій наукового керівника, подання теоретичної частини кваліфікаційної роботи на друге читання.	16.01.2026	
6.	Розробка технологічної і конструкторської частин роботи. Поетапний аналіз та обговорення результатів дослідної роботи.	30.01.2026	
7.	Подання першого варіанта дослідної частини кваліфікаційної роботи на перевірку науковому керівникові.	20.02.2026	
8.	Урахування рекомендацій наукового керівника, збагачення роботи додатковими дослідженнями, проведеними під час практики, підготовка варіанта роботи до попереднього захисту роботи на кафедрі.	06.03.2026	
9.	Попередній захист роботи на кафедрі.	20.03.2026	
10.	Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахуванням рекомендацій після попереднього захисту роботи на кафедрі.	03.04.2026	
11.	Подання кваліфікаційної роботи науковому керівникові та рецензентові на підготовку відгуку й рецензії.	17.04.2026	
12.	Подання на кафедру остаточного варіанта кваліфікаційної роботи, підписаного випускником, науковим керівником і рецензентом.	08.05.2026	

Здобувач вищої освіти _____ **Силак С. О.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  _____ **Савенок Д. В.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: «Оптимізація конструктивних характеристик екструдера для забезпечення якісного та високо ефективного процесу екструдювання кормів для тварин» виконана на 71 сторінці пояснювальної записки з використанням 17 літературних джерел.

У роботі розглянуто питання:

- сучасні технології виробництва кормів;
- теоретичні положення щодо процесу екструзії;
- обґрунтовано будову та основні характеристики екструдерів;
- описано будову та принцип дії обладнання для екструдювання кормів.

Важливу роль у забезпеченні високої якості та продуктивності процесу відіграють конструктивні характеристики екструдера, зокрема тип та конфігурація гвинта, форма фільтри, система подачі сировини та механізми нагріву й охолодження. Оптимізація цих характеристик дозволяє не лише підвищити ефективність процесу, але й знизити енергетичні витрати, покращити однорідність продукту та зменшити знос обладнання.

Правильне проектування робочих органів, шнеків, системи нагріву та змішування дозволяє значно підвищити продуктивність обладнання, зменшити енергетичні витрати та забезпечити стабільну якість кінцевого продукту.

Екструдювання дозволяє покращувати фізико-хімічні властивості кормів, підвищувати їх безпеку та створювати готові до використання продукти з оптимальною текстурою та збереженням поживних речовин.

Ключові слова: екструдер, якість кормів, тваринництво, конструктивні характеристики, технологія виготовлення кормів.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ I ТЕОРЕТИЧНИЙ.....	7
1.1 Сучасні технології виробництва кормів.....	7
1.2 Теоретичні засади процесу екструзії	14
1.3 Властивості сировини для екструдування кормів та характеристики готової продукції.....	18
Висновки до розділу I.....	21
РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНИЙ	22
2.1 Будова та основні характеристики екструдерів.....	22
2.2 Технічне обладнання для попередньої обробки сировини перед екструзією	29
2.3 Аналіз роботи одношнекових екструдерів.....	41
Висновки до розділу II	45
РОЗДІЛ III РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ	46
3.1 Розробка конструкції установки для екструзії кормів	46
3.2 Визначення продуктивності розробленого екструдера	52
3.3 Розробка процесу взаємодії робочих компонентів екструдера.....	59
Висновки до розділу III	62
РОЗДІЛ IV ОХОРОНА ПРАЦІ.....	63
4.1 Вимоги з організації безпеки праці на підприємстві, що займається виробництвом екструдованих кормів.	63
4.2 Пожежна безпека при виробництві кормів для тварин.....	65
4.3 Охорона праці та безпека при використанні технологічного обладнання	66
Висновки до розділу IV	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	70

ВСТУП

У сучасному тваринництві особлива увага приділяється якості та ефективності кормів, оскільки від цього безпосередньо залежить продуктивність тварин і економічна ефективність виробництва. Одним із перспективних методів підвищення поживної цінності та засвоюваності кормів є екструдування – термомеханічна обробка сировини під високим тиском та температурою. Процес екструдування дозволяє значно покращити фізико-хімічні властивості корму, забезпечує рівномірне розподілення компонентів суміші, знищує патогенну мікрофлору та підвищує безпеку продукту для тварин.

Ефективність процесу екструдування значною мірою залежить від конструктивних характеристик екструдера – типу гвинта, параметрів робочої камери, системи нагріву та подачі сировини. Оптимізація цих характеристик дозволяє не лише підвищити продуктивність обладнання, але й забезпечити отримання кормів із заданими фізико-механічними та біохімічними властивостями.

Мета даної роботи полягає у розробці рекомендацій щодо удосконалення конструктивних параметрів екструдера з метою забезпечення високої якості та ефективності процесу екструдування кормів для тварин. Для досягнення цієї мети передбачено аналіз сучасних типів екструдерів, визначення критичних параметрів процесу та розробку технічних рішень щодо їх оптимізації.

Результати можуть бути використані на підприємствах тваринницької галузі для підвищення продуктивності виробництва кормів і поліпшення їхніх поживних властивостей, що в кінцевому результаті сприятиме зростанню продуктивності тварин та ефективності аграрного виробництва.

РОЗДІЛ І ТЕОРЕТИЧНИЙ

1.1 Сучасні технології виробництва кормів

Продуктивність сільськогосподарських тварин безпосередньо залежить від стану кормової бази господарства, тобто від здатності забезпечити тварин якісними кормами з урахуванням їхнього віку та рівня продуктивності. Корми, як основне джерело енергії та поживних речовин, відіграють вирішальну роль у тваринництві та значною мірою визначають ефективність усієї галузі, адже понад половину виробничих витрат становить саме годівля.

Перетворення кормів у тваринницьку продукцію є одним із ключових процесів аграрного виробництва. Рівень його ефективності визначається відповідністю кормів потребам тварин за вмістом поживних речовин і фізико-механічними властивостями [8].

Чим вищою є така відповідність, тим більшою стає загальна результативність виробництва. Основою раціональної годівлі є збалансованість кормів за поживними речовинами, мікроелементами та біологічно активними компонентами, що сприяють зміцненню здоров'я тварин і покращенню якості кінцевої продукції.

Однією з головних передумов підвищення продуктивності праці та зниження собівартості тваринницької продукції є механізація виробництва кормів на основі раціональної технології у поєднанні з сучасними методами утримання тварин. Механізоване виробництво сприяє розширенню асортименту кормів для різних видів худоби.

Використання спеціалізованого обладнання для переробки рослинної сировини та її згодовування тваринам і птиці дає змогу ефективно залучати рослинні ресурси, особливо у процесі відгодівлі.

На рисунку 1.1 подано приклади типових технологічних схем приготування кормів.

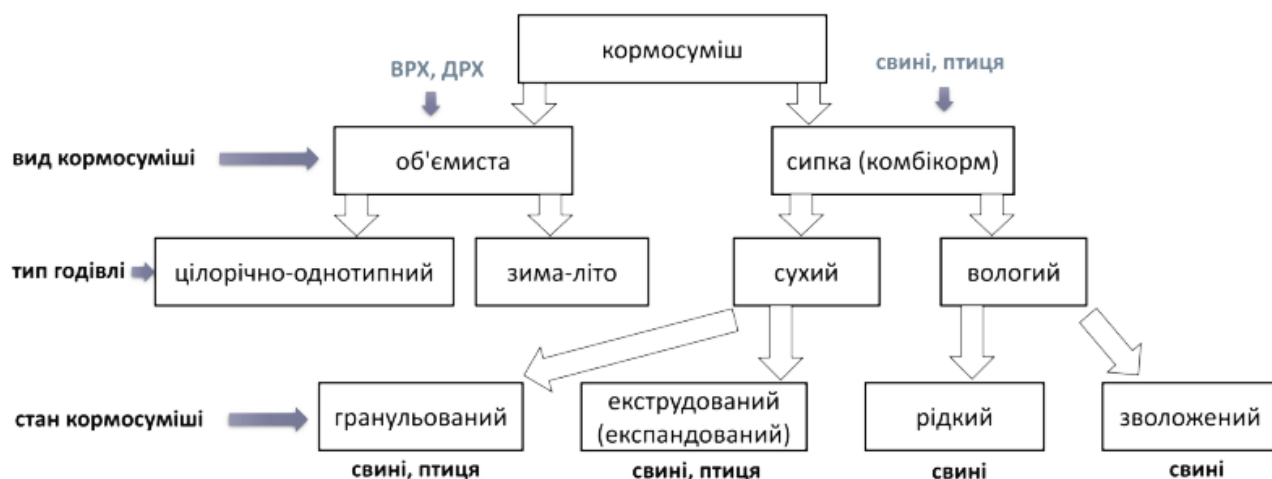


Рис. 1.1. Класифікація кормосумішей.

Зі структури сучасного кормового балансу видно, що перевага надається таким основним типам годівлі тварин:

- молочна велика рогата худоба раціони формуються із підвищеною часткою концентрованих кормів (30–35%), застосовується силосно-коренеплідний або силосно-сінажний тип годівлі;
- молодняк великої рогатої худоби на відгодівлі – переважають силосний, жомовий та концентратно-трав'яний типи годівлі, у тому числі у формі повнораціонних гранул і брикетів;
- свинини використовуються концентратно-коренеплідний і концентратно-картопляний типи, з умістом концентратів у раціоні 65–75%, а на великих свинофермах переважно концентратний тип;
- вівці сіно-силосно-концентратний тип годівлі з часткою концентратів 25–35%, причому сіно-концентратна частина раціону найчастіше подається у гранульованому вигляді;
- птиця концентратний тип годівлі, переважно з використанням гранульованих комбікормів.

Встановлено, що для великої рогатої худоби найвищу ефективність забезпечує згодовування всіх компонентів раціону у вигляді єдиної кормової суміші [5, 17].

Існують такі основні методи підготовки кормів: механічні, теплові, хімічні, біологічні та термічні. Серед них механічний спосіб є базовим і необхідним етапом, без якого подальші методи обробки неможливі. До механічних способів належать: різання, дроблення, миття, розколювання, дозування, просіювання, стирання, очищення, плющення, розминання, змішування, пресування, брикетування, гранулювання тощо. Цей метод застосовується як у дрібних господарствах, так і на великих виробничих комплексах та комбікормових підприємствах.

До теплових методів обробки кормів належать підсмажування, випікання, заварювання, сушіння, запарювання, випарювання та пастеризація, які використовуються для всіх видів кормів.

Хімічний спосіб найчастіше застосовують під час підготовки соломи до згодовування тваринам. Один із основних методів полягає в обробці лугом: солону заливають 1,5–2% розчином луку на 6–12 годин, після чого промивають водою. Поєднання лугування з пропарюванням дає змогу отримати кращий ефект. Для підвищення поживної цінності соломи також застосовують метод вапнування [1,5, 13].

Застосовуються також інші методи хімічної обробки кормів. Наприклад, грубі корми обробляють аміачною водою з розрахунку 12 літрів 25%-го розчину на 1 центнер сировини. Такий спосіб сприяє створенню сприятливих умов для діяльності мікроорганізмів, які розщеплюють важкоперетравну клітковину, що, у свою чергу, підвищує поживну цінність корму.

До сучасних технологій переробки зерна, зернових відходів, побічних продуктів польового господарства, борошномельної промисловості та біологічних відходів належить екструзія один із найефективніших і найпоширеніших методів у комбікормовій промисловості. Під час екструзійної обробки зернофуражу відбуваються два основні безперервні процеси:

- механічна та хімічна деформація матеріалу;

- вибухоподібне розширення (вибух) продукту.

Екструзійна переробка сільськогосподарської сировини за останні роки набула значного поширення. У процесі екструджування зернової сировини відбуваються глибокі фізико-хімічні зміни в структурі поживних речовин, що сприяє підвищенню енергетичної цінності та поліпшенню смакових характеристик корму.

Зокрема:

- збільшується перетравність білків і засвоюваність амінокислот завдяки руйнуванню вторинних зв'язків у білкових молекулах;
- покращується перетравність клітковини внаслідок її механічного подрібнення та стирання під час екструзії;
- відбувається желатинізація крохмалю, що підвищує його засвоюваність організмом;
- завдяки короткочасності процесу краще зберігаються амінокислоти та вітаміни, притаманні зерновим культурам;
- підвищується енергетична цінність корму через руйнування клітинних стінок жирових структур і стабілізацію жирів;
- знищується патогенна мікрофлора;
- покращуються органолептичні властивості готового продукту внаслідок розщеплення крохмалю на прості цукри, утворення ароматичних сполук, усунення специфічних запахів та формування однорідної пористої структури, більш придатної для дії травних ферментів тварин.

У результаті інтенсивної екструзійної обробки змінюється вуглеводний склад зернових культур: у готовому екструдаті вміст крохмалю знижується у 1,6–3,2 раза, тоді як кількість декстринів збільшується у 1,5–6,2 раза, а вміст цукрів у 1,2–2,1 раза (табл. 1.1).

Екструдовані продукти з зернових культур відзначаються підвищеним вмістом обмінної енергії, сирого протеїну та жиру. Екструдат ячменю має добрі смакові властивості та легко засвоюється організмом. У 1 кг такого

продукту міститься 1,24 кормових одиниці, 13,6 МДж обмінної енергії, 114 г сирого протеїну, 23 г сирого жиру та 4,2 г лізину .

Таблиця 1.1

Вміст поживних речовин у зернових екструдатах

Вид продукту	Вміст корисних речовин, %		
	цукор	крохмаль	декстрин
Пшениця натуральна	5,3	46,5	4,9
Екструдат пшениці	10,9	18,2	21,9
Ячмінь натуральний	5,6	50,5	6,4
Екструдат ячменю	9,6	11,8	39,9

Пшениця в екструдованому вигляді є цінним джерелом енергії з низьким вмістом клітковини. За кількістю протеїну вона перевищує кукурудзу. У 1 кг екструдату пшениці міститься 1,35 кормових одиниць, 14,2 МДж обмінної енергії, 127 г сирого протеїну, 30 г сирого жиру та 4,7 г лізину.

Використання екструдованих зернових у годівлі сільськогосподарських тварин має низку переваг (табл. 1.2):

- висока засвоюваність, що дозволяє включати у раціон лише 10–25% від звичайної норми (таким чином зменшується потреба в кормі);
- стерильність продукту, особливо важлива при годівлі молодняку;
- добрі абсорбуючі властивості, які сприяють нейтралізації кишкових інфекцій та подразнень;
- приємні смакові характеристики, що стимулюють споживання кормів нижчої якості у разі їх змішування;
- забезпечення високих приростів живої маси, що сприяє скороченню періоду відгодівлі [15, 5].

Здатність продукту під час екструдування втрачати до 50% початкової вологості дає змогу вводити до складу комбикормів зелені кормові трави без їх попереднього висушування. У складі рослинних екструдатів зазвичай

міститься 70-90% зернових компонентів та 10-30% подрібненої рослинної маси бобових і злакових трав із розміром часток не більше 10 мм.

На виході з екструдера зерновий екструдат являє собою частинки у вигляді жовтого джгута довжиною 30-35 мм та шириною 10-12 мм, які мають пористу, спінену структуру (рис. 1.2).

У 1 кг такого корму (в перерахунку на суху речовину) міститься 10,42-10,46 МДж обмінної енергії, 140-148 г сирого протеїну, 40,0-41,0 г сирої клітковини та 20-32 мг каротину.

Кінцева вологість отриманого зерно-рослинного екструдату становить 9,8-15,1%, що виключає потребу у додатковому досушуванні продукту. Розвиток екструзійних технологій відкрив нові можливості переробки кормових матеріалів для звірогосподарств, свиначства та птахівництва (табл. 1.2).

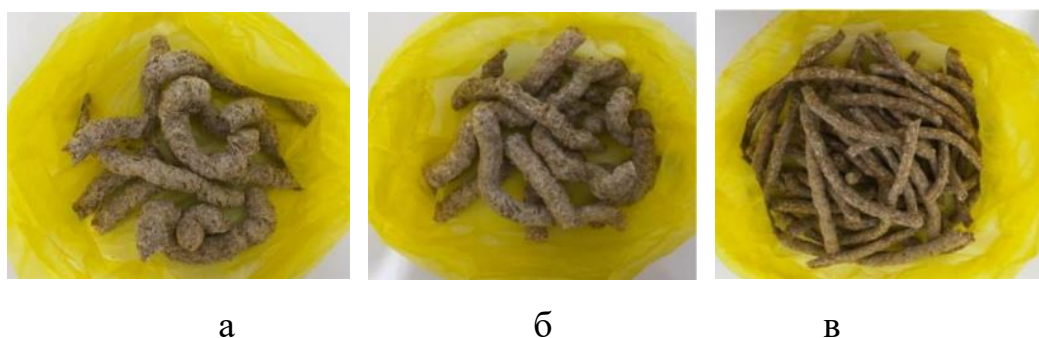


Рис. 1.2. Екструдат зерна пшениці: а – при вологості 18%; б – при вологості 22%; в – при вологості 26%.

Основою цих методів є процес екструзії, під час якого нагрівання сировини відбувається за рахунок внутрішнього тертя та тертя об стінки екструдера [13]. У сучасних екструдерах температура в залежності від властивостей матеріалу може досягати 200 °С, а тиск становити 4–5 МПа. Негативні наслідки такої обробки практично усуваються завдяки її нетривалості перебування матеріалу в екструдері триває близько 30–90 с.

Таблиця 1.2.

Ефективність впровадження екструдованих кормів у годівлі тварин і птиці.

Етап / Фактор	Зміни в Кормі (Екструзія)	Переваги для Тварин та Господарства
Крохмаль	Желатинізація та деградація (розпад кристалічної структури)	Вища засвоюваність енергії (до 90-95%), Зниження навантаження на травну систему.
Білок	Денатурація (розгортання структури)	Краще перетравлення та засвоєння амінокислот, Зростання продуктивності (приріст маси, надої).
Антипоживні Фактори	Нейтралізація/Інактивація (наприклад, у бобових, сої)	Зниження негативного впливу на травлення та здоров'я, Безпечність корму.
Патогенна Мікрофлора та Токсини	Термічна обробка/Стерилізація	Знищення шкідливих бактерій, грибків та токсинів, Зниження ризику захворювань (особливо ШКТ).
Смакові Якості	Утворення унікального аромату та пухкої, хрусткої структури	Підвищення апетиту та поїдання корму тваринами.
Зберігання	Зниження вологості та стерилізація	Тривалий термін зберігання без втрати якості, Зменшення псування та пліснявіння.
Фізична Форма	Пухка, пориста структура; можливість гранулювання	Зручність транспортування та роздачі

Під час екструзійного процесу суміш:

- проходить стерилізацію та знезараження (патогенні мікроорганізми, гриби та пліснява повністю знищуються);
- збільшується в об'ємі (це відбувається через руйнування молекулярних структур крохмалю та клітинних оболонок під час виходу з екструдера);
- гомогенізується (у стовбурі екструдера тривають процеси подрібнення й перемішування, що забезпечує повну однорідність продукту);
- стабілізується (деактивуються ферменти, які спричиняють псування продукту, зокрема ліпаза та ліпоксигеназа, а також нейтралізуються антипоживні речовини та токсини);
- частково зневоднюється (вміст вологи зменшується порівняно з початковим).

Вплив множинних факторів на якість екструдата є складною, але дуже важливе практичне завдання, оскільки її рішення вказує шляхи управління процесом, що протікає. Це може бути досягнуто шляхом вдосконалення конструктивних параметрів екструдера, тому підвищення ефективності процесу екструдування є актуальною завданням.

1.2 Теоретичні засади процесу екструзії

Тваринництво може ефективно розвиватися за умови широкого застосування комбікормів, тому їх виготовлення є одним із пріоритетних напрямів національного господарства. Поряд зі збільшенням обсягів виробництва комбікормів важливо підвищувати їхню якість і урізноманітнювати асортимент.

В Україні значну частку продукції тваринництва виробляють малі господарства – фермерські та особисті підсобні. Їх характерною особливістю є невелика кількість поголів'я худоби та птиці.

Для виготовлення кормів у таких умовах доцільно застосовувати компактні комбікормові установки, ключовим елементом яких виступає екструдер. Перевагами подібного обладнання є відсутність потреби у великих виробничих приміщеннях, можливість швидкого монтажу та демонтажу, а також легке транспортування. Компактні установки дозволяють оперативно змінювати рецептури комбікормів та уникнути необхідності закупівлі й зберігання великих обсягів сировини.

Значна частина кормового балансу припадає на зернові культури. Тому підвищення їхньої поживної цінності є важливим чинником покращення якості комбікормів. Це особливо актуально при виготовленні кормів для молодняку, оскільки в молодих тварин і птиці ще недостатньо сформована ферментативна система для перетравлення крохмалю – основного складника злакових зерен.

Екструзійна обробка зернової сировини дає змогу перевести крохмаль у більш доступну для засвоєння форму, завдяки чому підвищується поживна цінність кормів. У процесі екструдювання відбуваються знезараження, подрібнення, перемішування та часткове зневоднення матеріалу, що дозволяє отримати високоякісний, легкозасвоюваний продукт.

Екструдер (від лат. *extrudo* – «виштовхувати») – це машина, яка поєднує термічну, гідравлічну та механічну обробку сировини для отримання продуктів із новою структурою й властивостями.

Екструзія є складним процесом, що відбувається під дією механічних навантажень, за наявності вологи та високої температури. Нагрівання матеріалу в екструдері відбувається завдяки перетворенню механічної енергії на теплову через внутрішнє тертя та пластичну деформацію (автогенний режим) або за рахунок зовнішнього теплопідводу (політропний режим).

У виробництві комбікормів екструзію застосовують для покращення властивостей протеїнів, зміни структури крохмалю та інших полісахаридів, а також для знешкодження антипоживних речовин [5, 12].

Перший одновальний екструдер створили в Англії для виготовлення ковбасних виробів. Він став основою для подальшого розвитку одновальних екструдерів, які згодом почали використовувати для виробництва макаронів. Такі машини лише змішували і формували продукт без суттєвої зміни його структури.

Екструзія належить до баротермодинамічних методів обробки, що поєднують статичний та динамічний вплив тиску й температури. Основою процесу є механо-хімічна деформація та так званий «вибух» різкий перепад тиску, що виникає під час декомпресії. Ці процеси є неперервними і залежать від інтенсивності теплового та механічного впливу.

З урахуванням фаз перетворення сировини процес екструзії (рис. 1.3) включає кілька етапів: подачу, ущільнення, гомогенізацію та власне формування продукту [4].

У зоні подачі зміни у властивостях матеріалу майже не відбуваються. В зоні високого тиску продукт переходить у еластичний стан, зазнає руйнування клітинної структури, а також перетворень крохмальних і целюлозно-лігнінових компонентів. Під час гомогенізації сировина набуває в'язкотекучих властивостей, змінюється структура білків і крохмалю.

Найсуттєвіші зміни спостерігаються на виході продукту з екструдера, коли він швидко переходить з області високого тиску до атмосферного. У цей момент накопичена енергія вивільняється майже миттєво, зі швидкістю, близькою до швидкості вибуху.

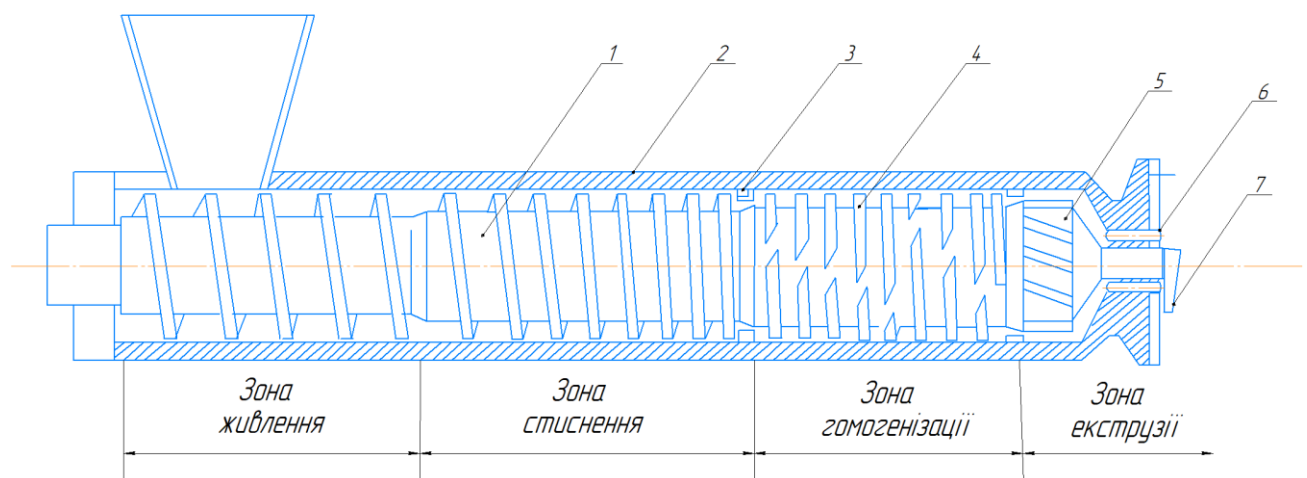


Рис. 1.3. Схема одношнекового прес-екструдера і технологічні зони за його довжиною: 1 – вал набірної шнеку перемінного поперечного перерізу; 2 – корпус; 3 – гріючі шайби; 4 – виток шнека; 5 – лопатки гомогенізатора; 6 – (фільтри); 7 – ніж.

У процесі екструдювання температура продукту може перевищувати температуру навколишнього середовища приблизно на 200 °С. За таких теплових умов і під впливом високого тиску вода здатна залишатися лише в рідкому стані (рис. 1.4.а).

Коли ж суміш виходить через фільтри й потрапляє в умови атмосферного тиску, вода миттєво випаровується, виділяючи значну кількість тепла та різко збільшуючись у об'ємі (рис. 1.4.б) [6].

Температура, за якої сировина переходить у в'язкотекучий стан, значною мірою залежить від її вологості, а отже і ступінь нагрівання за рахунок внутрішнього тертя та тертя об поверхні деталей екструдера. Таким чином, змінюючи в'язкість маси, вода визначає тепловий баланс роботи екструдера (рис. 1.4. в).

Під впливом тиску водяної пари в продукті формуються порожнини, а крохмальні зерна, що не були повністю зруйновані, розриваються. Подальше різке охолодження сприяє затвердінню крохмалю, завдяки чому утворена пориста структура зберігається (рис. 1.4. г) [4].

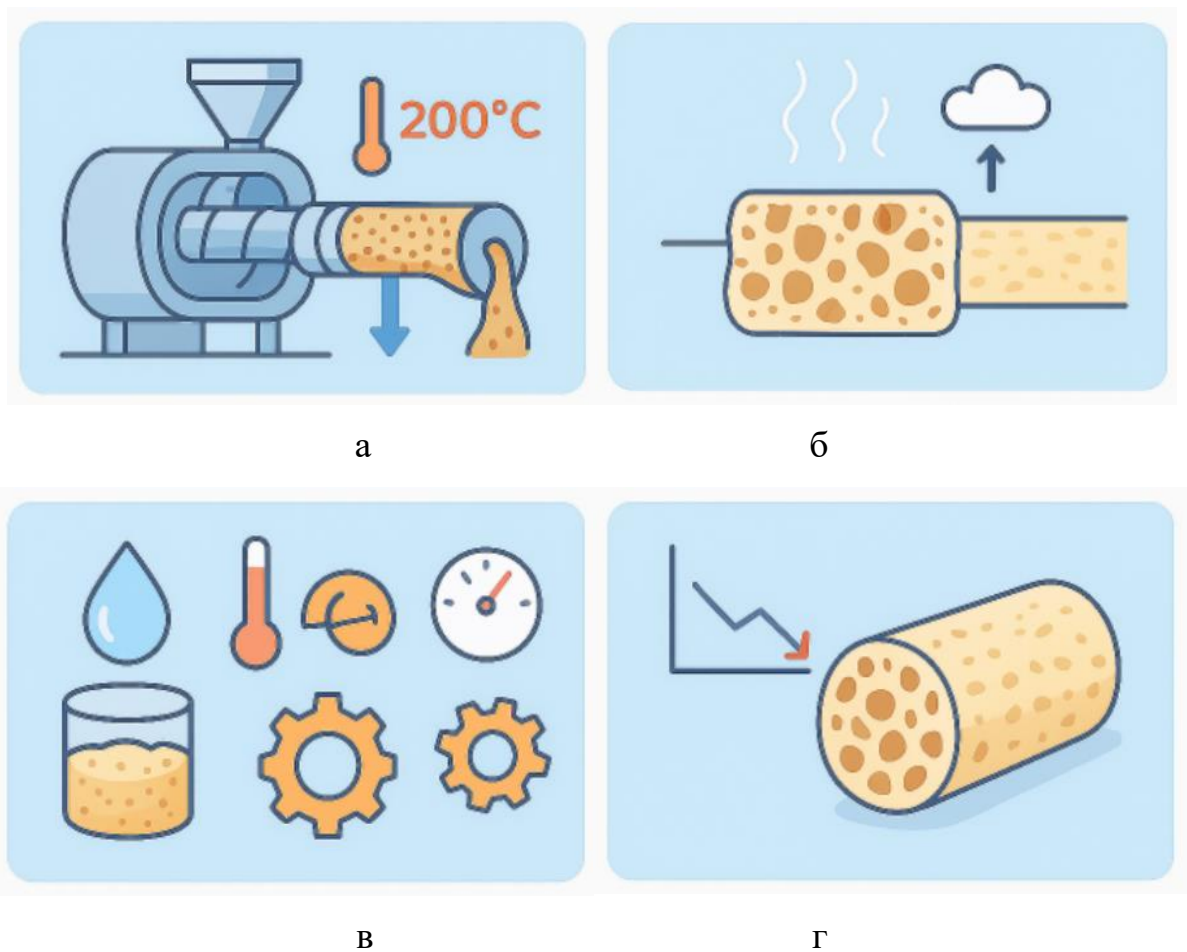


Рис. 1.4. Вплив температури на процес екструдкування: а – температурні та тискові умови в процесі екструдкування; б – випаровування води, виділення тепла та збільшення об'єму продукту; в – вплив вологості сировини на температуру та в'язкотекучість маси під час роботи екструдера; г – утворення пористої структури продукту під час екструзії.

На параметри екструзійного процесу впливають склад сировини, її вологість, спосіб попередньої обробки, а також умови зміни температури, тиску, тривалості та інтенсивності механічної дії на матеріал [2].

В'язкість кінцевого продукту зростає зі збільшенням у ньому частки води, ліпідів та цукрів, і, навпаки, зменшується зі зростанням температури екструзії та швидкості обертання гвинта. Важливим чинником, що впливає на в'язкість, є також конструкція екструдера та його робочих елементів.

Оскільки екструзія дає змогу керовано змінювати властивості матеріалу та його компонентів, вона знаходить широке застосування у різних галузях господарства, зокрема у виробництві комбікормів [5, 6].

1.3 Властивості сировини для екструдювання кормів та характеристики готової продукції

До компонентів, що застосовуються у виробництві комбікормів, належить сировина рослинного, тваринного та мінерального походження, а також біологічно активні речовини (БАР).

Сировина, що використовується для екструдювання кормів для тварин, має відзначатися стабільною якістю, однорідністю та відповідними фізико-хімічними параметрами. До основних компонентів належать зернові культури (пшениця, кукурудза, ячмінь, овес), бобові (соя, горох), білково-вітамінні добавки та жири (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Характеристика основних компонентів сировини

Вид сировини	Вологість, %	Протеїн, %	Жир, %	Крохмаль, %
Кукурудза	12–14	8–10	3–5	65–70
Пшениця	12–14	10–12	2–4	60–65
Ячмінь	12–14	10–11	2–3	55–60
Соя	10–12	32–38	18–20	10–12
Горох	10–12	20–25	1–2	40–45

Головним критерієм відбору сировини є її харчова цінність, рівень вологості та здатність до термопластичної деформації, що забезпечує формування структури екструдату.

Вологість сировини переважно становить 10-14 %, що сприяє оптимальному процесу пластичного перетворення під дією високої температури та тиску. Наявність білків, крохмалю та клітковини визначає реакцію сировини на теплову обробку. Під дією екструзії відбувається денатурація білків, частковий розклад клітковини та желатинізація крохмалю, що підвищує засвоюваність корму. До мінеральних компонентів сировини належать проварена сіль, крейда, вапняк, ракушняк, фосфатні сполуки та інші матеріали.

Крім того, під час виготовлення комбікормів широко застосовують побічні продукти різних галузей переробної промисловості, зокрема харчової, борошномельної, круп'яної, крохмале-патокової, цукрової та бродильної. У складі комбікормів також використовують біологічно активні добавки, серед яких: вітаміни, амінокислоти, ферментні препарати, гормональні речовини та лікарські засоби.

Зернові корми є основним джерелом вуглеводів, частка яких у середньому досягає 80%. Основу сухої речовини становить крохмаль. Кількість сухої речовини в зерні визначається умовами збирання та зберігання і зазвичай становить 85-90%.

У складі зернових містяться легкозасвоювані азотисті та безазотисті сполуки. Найбільш варіативним компонентом є сирий протеїн, вміст якого в зерні коливається в межах 7-15%. Із загальної кількості азотистих речовин 85-90% припадає на білки, проте вони містять незначну кількість лізину та метіоніну.

Вміст жиру залежить від культури: у вівсі він становить близько 4,9%, тоді як у житі та пшениці 1,9-2,1%. Найбільше клітковини міститься в гречці (13,1%) та вівсі (12,3%), а найменше у кукурудзі (2,5%) та пшениці (2,7%).

Зернові культури характеризуються низьким вмістом кальцію: у кукурудзі та просі він становить 0,5-0,6 г/кг, у вівсі та гречці 1,5-1,7 г/кг. Водночас у зерні багато фосфору, найбільше у кукурудзі (3,6 г/кг). Зернобобові культури вирізняються високим рівнем протеїну. Наприклад, у горосі його частка становить 18,8-28,5%, тоді як вміст жиру сягає 1,5%, а клітковини 5,8%.

Фізичні властивості, зокрема крупність частинок, насипна густина та рідинна поглинальна здатність, визначають рівномірність подачі суміші та стабільність тиску в екструдері. Характеристики вологості є найбільш критичними: зазвичай оптимальним є вміст води 10-18%, оскільки нижчі значення погіршують пластичність і призводять до неповноцінної термічної обробки, а вищі знижують температуру всередині робочої камери й ускладнюють утворення спученої структури.

При екструдюванні білки денатурують та частково гідролізуються, що підвищує їх засвоюваність. Крохмаль у процесі високотемпературної короткочасної обробки переходить у желатинізований стан, завдяки чому корм набуває пористої структури і кращої перетравності.

Ліпіди рівномірно розподіляються в масі, а частина окиснюється, що підвищує запахову привабливість. Розчинні вуглеводи частково карамелізуються, формуючи смакоароматичні компоненти. Також відбувається знезараження маси: висока температура та тиск знищують мікрофлору, бактерії та грибки, роблячи продукт безпечним.

Готовий екструдований корм на виході з фільтри потрапляє у зону атмосферного тиску, де вода інтенсивно випаровується, викликаючи швидке розширення й утворення спінених каналів. Така структура робить гранули легкими та крихкими, водночас забезпечує високу швидкість проникнення травних ферментів.

Важливими характеристиками готової продукції є насипна щільність, ступінь спучування, вміст залишкової води, міцність гранул та

рівномірність зовнішнього вигляду. Оптимальний рівень вологи після виходу становить 8-12%, що запобігає плісняві та забезпечує тривале зберігання.

Низька насипна маса підвищує поїдання корму та спрощує транспортування. Успішна екструзія характеризується однорідною пористою структурою, інтенсивним ароматом та стабільними геометричними формами гранул. Таким чином екструдкування відкриває значні перспективи для удосконалення технології виробництва комбикормів; у сучасних умовах цей метод вважається прогресивним і доцільним для широкого застосування.

Висновки до розділу I

В розділі вивчено сучасні технології виробництва кормів. Сучасні технології дозволяють гнучко регулювати фізико-хімічні параметри корму (вологість, температуру, розмір часток), що сприяє точному контролю якості та підвищенню ефективності годівлі.

Проаналізовано теоретичні засади процесу екструзії. Оптимізація параметрів процесу (температура, тиск, швидкість обертання гвинта, вологість сировини) безпосередньо впливає на якість та структуру готового продукту.

Обґрунтовано властивості сировини для екструдкування кормів та характеристики готової продукції. Контроль за параметрами екструдкування та властивостями сировини дозволяє отримувати корм із стабільною якістю, тривалим терміном зберігання та покращеними харчовими показниками.

РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Будова та основні характеристики екструдерів

Екструдер – це машина безперервної дії, призначена для переробки сировини (зернових, кормових сумішей, пластмас, тощо) шляхом продавлювання її через формувальний канал під дією тиску, температури і зсувних зусиль. Основний результат процесу екструзії отримання продукту зі зміненою структурою, формою або властивостями.

Екструдер Е-150 призначений для виготовлення комбікормів для сільськогосподарських і домашніх тварин, а також птиці. Використання цієї машини забезпечує підвищену засвоюваність корму та його очищення від шкідливих мікроорганізмів і небажаних речовин.

Цей екструдер дозволяє переробляти зерно і крупу пшениці, жита, кукурудзи, ячменю, трітікале і бобові (горох, соя, люпин). В таблиці. 2.1 приведена технологічна характеристика (Е-150).

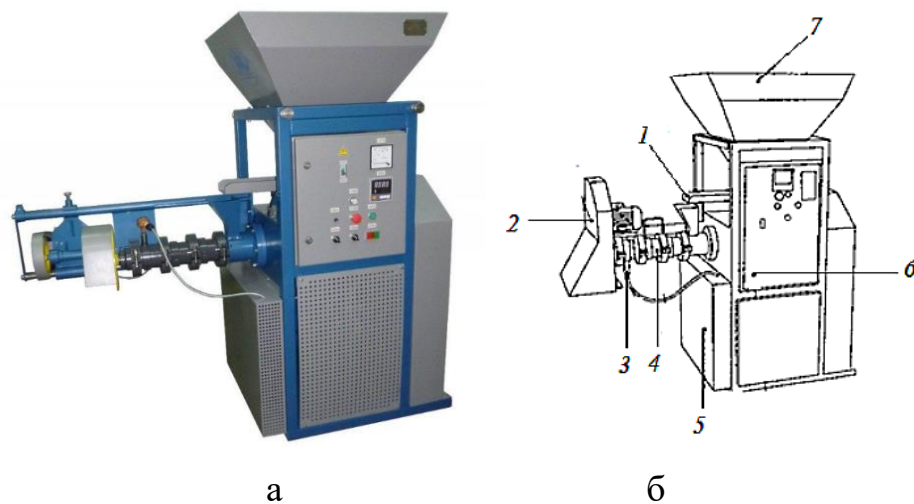


Рис. 2.1. Загальний вигляд (а) та технологічна схема (б) екструдера Е-150: 1 – віброживильник; 2 – відсікач; 3 – термодатчик; 4 – робочий орган; 5 – електропривід; 6 – шафа керування.

Принцип роботи полягає в тому, що зерно із завантажувального бункера за допомогою віброживильника подається до робочого органу

екструдера. Сировина з бункера надходить у приймальну воронку робочого органу, а інтенсивність її подачі регулюється шляхом зміни частоти коливань віброживильника. Безпосередньо в робочому органі відбувається видавлювання підготовленої маси через формувальну філь'єру.

Використання даного екструдера забезпечує можливість:

- отримувати комбікорм високої якості;
- зменшити витрати зерна при годівлі тварин до 40%;
- раціонально використовувати наявну сировину;
- здійснювати контроль за якістю виготовленого комбікорму;
- очищати некондиційну сировину від мікроорганізмів.

Таблиця 2.1

Технологічна характеристика екструдера (Е-150)

Параметр	Значення
Модель	Е-150 (зерновий/кормовий екструдер)
Призначення	Приготування/екструзія кормів із зерна (пшениця, кукурудза, соя тощо)
Продуктивність (до)	150 кг/год.
Потужність / споживана потужність	Типові варіанти: 19 кВт (вказано у деяких джерелах) або ≈ 15 кВт у інших модифікацій (ЕГК-150 тощо).
Напруга живлення	380 В (типово для машин такого класу).
Габарити (Д×Ш×В)	Часті дані: 1700×750×2000 мм (є й інші варіанти для модифікацій: напр., 1300×1070×1500 мм або 700×600×550 мм залежить від конструкції).
Вага	Від ~ 240 кг до ~ 700 кг в залежності від модифікації та комплектації.
Тип приводу	Електродвигун (від мережі).
Перероблюване сировина	Зернові (пшениця, кукурудза, ячмінь, соя тощо).
Об'єм бункера / додаткові опції	Зазвичай є бункер і шнек; деякі моделі бункер ~ 50 л (в залежності від виробника). Доступні комплектуючі: набори шнеків, наконечники, подільники.
Гарантія	Зазвичай 12 міс. (у комерційних пропозиціях) залежить від продавця.

Екструдер Е-250 (рис. 2.2) призначений для виготовлення комбікормів для сільськогосподарських і домашніх тварин, а також птиці. Крім того, він використовується для обробки соєвого, ріпакового та соняшникового шроту з

метою підвищення їх засвоюваності та очищення від шкідливих мікроорганізмів і небажаних речовин.

За допомогою екструдера можлива переробка зерна та круп пшениці, жита, кукурудзи, ячменю, гороху, бобів, сої, ріпаку й насіння соняшнику. В таблиці 2.2 подано технологічні характеристики екструдера Е-250.

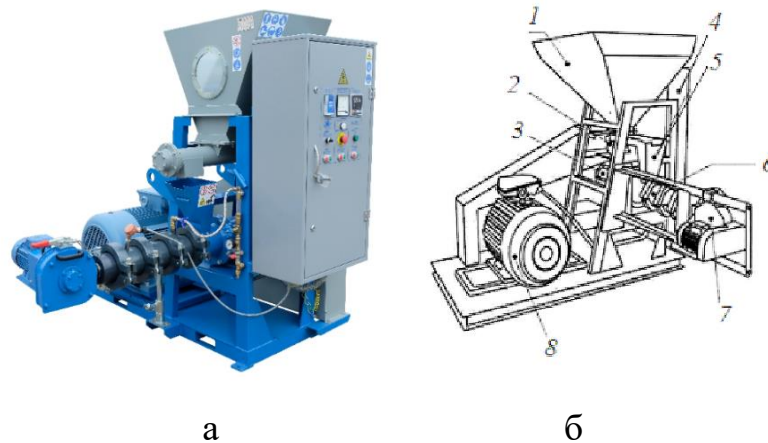


Рис. 2.2. Загальний вигляд (а) і технологічна схема (б) екструдера Е-250:
1 – завантажувальний бункер; 2 – віброживильник; 3 – шпіндель; 4 – шафа керування; 5 – магнітоуловлювач; 6 – гвинтовий робочий орган;
7 – відсікач; 8 – електропривід.

Зернова маса з завантажувального бункера за допомогою віброживильника через приймальну воронку надходить у робочий орган екструдера. Інтенсивність подачі регулюється зміною частоти коливань віброживильника. У воронці розміщено магнітоуловлювач для виловлення металевих домішок. У робочому органі машини здійснюється продавлювання сировини через формуючу фільтру.

Таблиця 2.2

Технологічна характеристика екструдера Е-250

Продуктивність, при вологості вихідної сировини	12-16%, не менше 250 кг/год
Напруга живлення	380 В, 50 Гц, 3 ф
Споживча потужність	370 кВт
Габаритні розміри, мм	2000×1,6×1,7
Маса, кг	900 кг

Екструдер Е-500 (рис. 2.3) призначений для виробництва комбікормів і обробки сої чи зернових культур. Він здатний переробляти сою з продуктивністю до 500 кг / годину при роботі з відповідною наладкою. У разі переробки зернових чи гороху його продуктивність становить до приблизно 310 кг / годину.

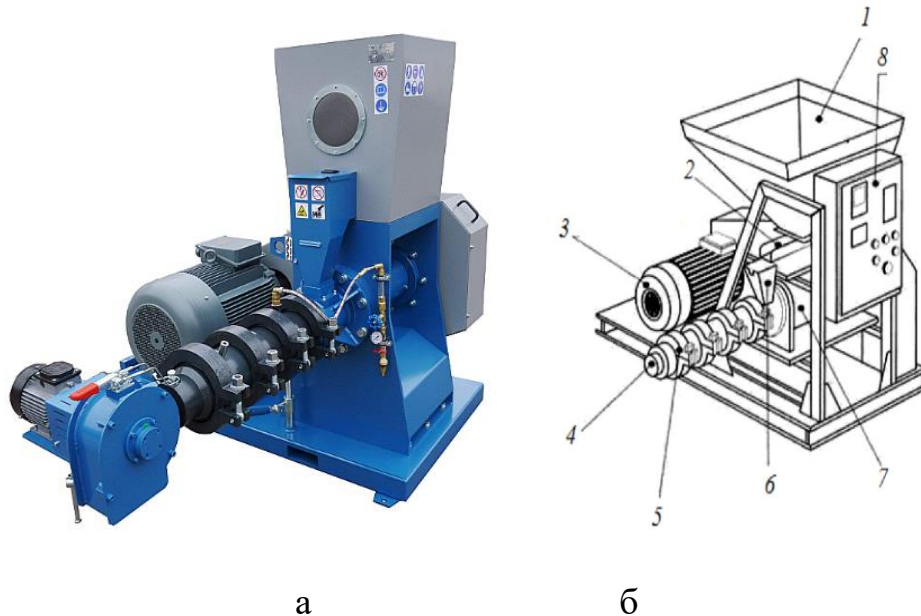


Рис. 2.3. Загальний вигляд (а) та схема екструдера (б) Е-500: 1 – завантажувальний бункер; 2 – віброживильник; 3 – електропривід; 4 – філь’єра; 5 – гвинтовий робочий орган; 6 – магнітоуловлювач; 7 – шпindel; 8 – шафа керування.

Машина забезпечує переробку зерна та круп пшениці, жита, кукурудзи, ячменю, гороху, бобів, сої, ріпаку й насіння соняшнику.

Основні характеристики:

Продуктивність при переробці сої до 500 кг/год.

Продуктивність при переробці зернових/гороху до 310 кг/год.

Споживана потужність 55 кВт.

Габарити: довжина 2300 мм, ширина 2100 мм, висота 1700 мм.

Вага 1400 кг (за деякими даними) чи 1800 кг за іншими.

Сировина: соя, ріпак, горох, люпин, зернові культури.

Застосування цього екструдера дозволяє: виготовляти високоякісний комбікорм; економити до 40% зерна при годуванні тварин; економити до 30% енергії при підготовці сої, ріпаку і насіння; соняшнику до віджимання олії; ефективно використовувати доступну сировину; контролювати якість застосовуваного комбікорму; очищати некондиційну сировину від мікроорганізмів.

Екструдер Е-1000 (зерновий, соєвий) (рис. 2.4) призначений для виготовлення комбікормів, що використовуються у годівлі сільськогосподарських і домашніх тварин, а також птиці. Принцип дії аналогічний до роботи екструдера Е-500.

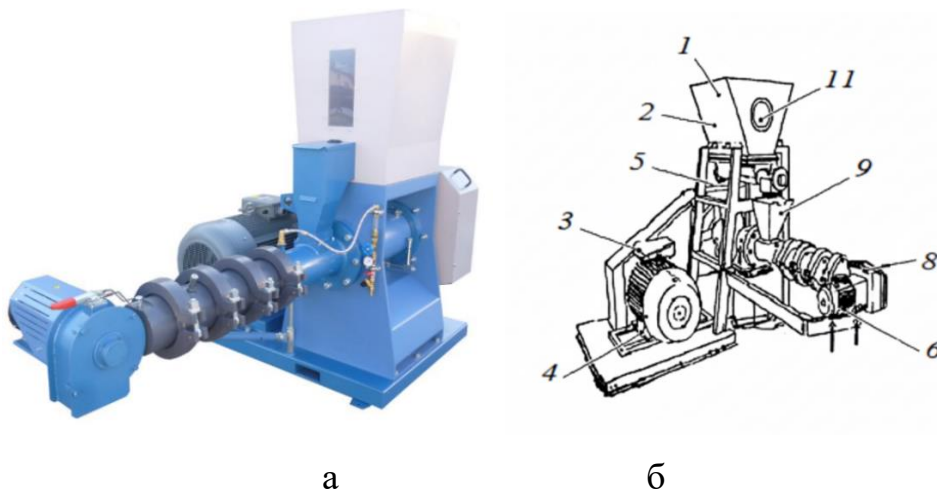


Рис. 2.4. Загальний вигляд (а) та схема екструдера (б) Е-1000: 1 – завантажувальний бункер; 2 – шнековий живильник; 3 – електропривід; 4 – шпindel; 5 – клапан системи зволоження; 6 – термометр; 7 – відсікач; 8 – гвинтовий робочий орган; 9 – магнітоуловлювач; 10 – шафа керування; 11 – оглядове віконце бункера.

Крім того, він застосовується для отримання повножирової макухи із сої, ріпаку та насіння соняшнику з підвищеною засвоюваністю та очищенням від шкідливих мікроорганізмів і речовин. Установка забезпечує переробку зерна та круп пшениці, жита, кукурудзи, ячменю, гороху, бобів, сої, ріпаку, насіння соняшнику, а також відходів м'ясопереробної промисловості.

Екструдер Е-1500 (рис. 2.5) – це обладнання, призначене для виготовлення складних комбікормів для сільськогосподарських та домашніх тварин, птиці, а також риби.

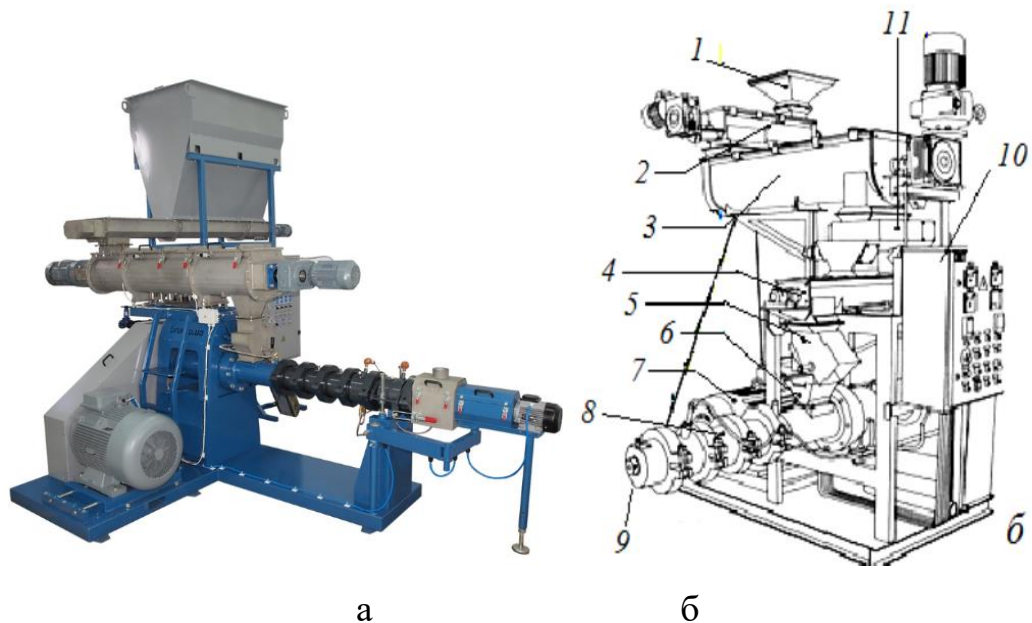


Рис. 2.5. Загальний вигляд (а) та схема екструдера (б) Е-1500: 1 – завантажувальний бункер; 2 – живильник сировини; 3 – змішувач-прекондиціонер; 4 – живильник; 5 – клапан; 6 – магнітоуловлювач; 7 – електропривід; 8 – гвинтовий робочий орган; 9 – фільтр; 10 – шафа керування; 11 – оглядове віконце бункера.

Екструдер забезпечує підвищену засвоюваність продукції та її знезараження від шкідливих мікроорганізмів і речовин. Перед процесом екструдювання передбачена можливість введення до сировини білкових і мінеральних добавок.

Він здатний переробляти зерно та крупи пшениці, жита, кукурудзи, ячменю, гороху, бобових культур, сої, ріпаку, насіння соняшнику й дозволяє застосовувати складні комплексні рецептури. Технічні характеристики екструдера Е-1500 наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Технічні характеристики екструдера Е-1500

Параметр	Значення
Продуктивність	до 1 500 кг/год (для переробки сої)
Продуктивність (інше джерело)	до 1 000 кг/год
Витрата пари	до 60 кг/год
Габарити (довжина × ширина × висота)	2 400 мм × 2 400 мм × 2 850 мм
Маса (вага)	4 000 кг
Потужність	110 кВт
Габарити (альтернативно)	2 700 мм × 2 700 мм × 2 100 мм

Екструдер Е-1500 працює за принципом примусового переміщення та переробки сировини всередині робочої камери під дією обертового шнека. Сировина надходить у завантажувальний бункер, звідки подається в циліндр, де її інтенсивно стискають, нагрівають та піддають змішуванню.

Під впливом високої температури, тиску та механічних зусиль відбуваються фізико-хімічні зміни структури матеріалу. Після проходження через формувальний отвір продукт виходить у вигляді екструдату, охолоджується й набуває необхідних властивостей та форми.

Використання даного екструдера дає можливість:

- виготовляти високоякісні комбікорми;
- заощаджувати до 40% зерна під час годування тварин;
- скорочувати енерговитрати до 30% при обробці сої, ріпаку й насіння соняшнику перед віджиманням олії;
- знешкоджувати некондиційну сировину від мікроорганізмів;
- утилізувати та переробляти зернові відходи;
- отримувати гранульовані корми для риб;
- виготовляти екструдовані комбікорми з додаванням білкових компонентів;
- раціонально використовувати наявну сировину;
- контролювати якість виготовлених кормів;
- виробляти комбікорми для собак, котів і хижих тварин.

Отже, екструдери є високоефективними апаратами для формування різноманітних матеріалів, а їх технічні характеристики та конструктивні особливості визначають сферу застосування, якість продукції та економічну ефективність виробництва.

2.2 Технічне обладнання для попередньої обробки сировини перед екструзією

Для підвищення поживності та ефективнішого використання фуражного зерна застосовують різні методи його обробки, зокрема: подрібнення, підсмажування, варіння, запарювання, осолоджування, екструдкування, мікронізацію, плющення, флакування, відновлення та дріжджування. Подрібнення є найпростішим, доступним і необхідним способом підготовки зерна до згодовування. Для цього використовують сухе, якісне зерно з нормальним запахом і кольором, яке переробляють на молоткових дробарках або зернових млинах. Від розміру частинок, отриманих у процесі подрібнення, залежить інтенсивність поїдання корму, швидкість його проходження через травний тракт, кількість секретованих травних соків і їх ферментативна активність.

У результаті подрібнення значно збільшується загальна поверхня частинок зерна та зменшується їх товщина. Це сприяє кращому травленню та засвоєнню корму в шлунково-кишковому тракті. У незмінному вигляді зерно вівса, ячменю та кукурудзи згодовують коням. Птахам можуть давати до 40 % цілого зерна, оскільки в їх м'язовому шлунку воно перетирається природним шляхом. Натомість свиням і великій рогатій худобі не рекомендується давати ціле зерно, оскільки значна його частина не перетравлюється і виходить з організму транзитом.

Виділяють три ступені подрібнення зерна:

- крупний – 2,6-1,8 мм, залишок на ситі з отворами 3 мм не більше 35 %;

- середній – 1,8-1,0 мм, залишок на ситі з отворами 3 мм не більше 12 %;
- дрібний – 1,0-0,2 мм, залишок на ситі з отворами 2 мм не більше 5 %.

У конярстві та птахівництві застосовують крупний ступінь подрібнення зерна. Для великої рогатої худоби та овець, за винятком молодняку молочного віку, використовують середній ступінь, а для свиней і телят дрібний. Встановлено, що за дрібнішого помелу свині засвоюють зерно ефективніше, ніж за грубого. Так, перетравність цілого ячменю при згодовуванні молодняку свиней на відгодівлі становила 67 %, тоді як грубого помелу 79,2 %, середнього 81,7 %, а дрібного 4,6 %.

Подрібнення зерна здійснюють за допомогою молоткових дробарок типу КДУ-2,0, ДКМ-5 та інших.

Універсальна дробарка КДУ-2,0 (рис. 2.6) включає дробильний та ріжучий вузли, обладнані живильним 13 і пресувальним 12 транспортерами, завантажувальним бункером 1, вентилятором 4, циклоном 10 зі шлюзовим затвором 9 та системою пневмотранспорту, а також раму й електродвигун.

Дробильний вузол містить камеру з ґратами, деками та молотковим барабаном. Вище камери встановлено приймальний бункер для зерна з магнітним сепаратором і поворотною заслінкою з рукояткою, що забезпечує регулювання подачі сировини. Подрібнювальний вузол включає ріжучий барабан 2 із трьома спіральними ножами, закріпленими болтами на двох фігурних дисках, протиріжучу пластину та два транспортери.

Робота дробарки КДУ-2,0 може здійснюватися за трьома схемами налаштування:

- подрібнення сипких зернових кормів;
- переробки качанів кукурудзи та грубих кормів (сіна, соломи);
- подрібнення соковитих кормів (трави, силосу, коренеплодів).

Для помелу зерна в дробильну камеру встановлюють решето, а ріжучий барабан вимикають, знімаючи клинові ремені з його шківа. У разі переробки

грубих кормів шків ріжучого барабана під'єднують до шківів електродвигуна за допомогою клинопасової передачі.

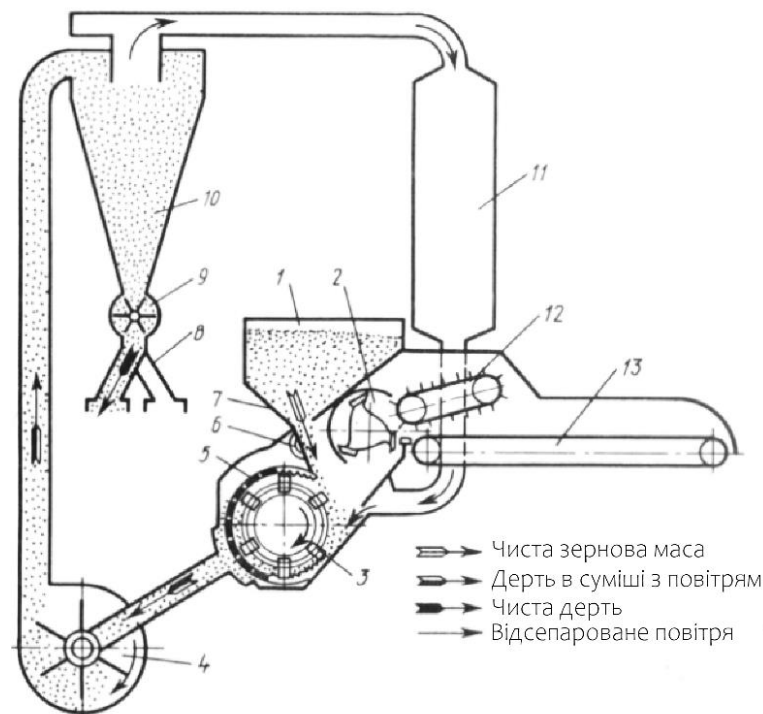


Рис.2.6. Технологічна схема дробарки КДУ-2,0: 1 – зерновий бункер; 2 – ножовий барабан; 3 – молотки; 4 – вентилятор; 5 – решето; 6 – магнітний сепаратор; 7 – заслінка; 8 – розтруб мішкотримача; 9 – шлюзовий затвор; 10 – циклон; 11 – фільтруючий рукав; 12, 13 – пресуючий та живильний транспортери.

Під час подрібнення соковитих кормів решета та коліно всмоктувального трубопроводу, що з'єднує патрубок дробильної камери з вентилятором, демонтують, а їхнє місце займають викидна горловина та дефлектор. У такому режимі пневмосистема відключена, і повітряний потік разом із подрібненою масою під високим тиском спрямовується через викидну горловину.

Дослідження впливу ступеня подрібнення зерна на продуктивність великої рогатої худоби встановили, що тварини значно гірше засвоюють цільне зерно порівняно з плющеним. Це пояснюється наявністю волокнистої

оболонки, яка ускладнює проникнення ферментів травного соку до поживних компонентів.

Плющене зерно (суміш пшениці та кукурудзи) забезпечувало кращі продуктивні показники, ніж дроблене чи розмелене (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Зміна надоїв корів залежно від способу обробки зерна (дроблення та плющення)

Показник	Сухе зерно різних видів		
	плющене	дроблене	молоте та гранульоване
Добовий надій, кг	23,0	20,9	19,8
Добовий надій молока 4%-ної жирності, кг	22,7	20,6	19,9
Жирність молока, %	3,92	3,88	4,01
Кількість молочного жиру, кг	902	813	795
Вміст білка, %	3,06	2,90	3,08
Кількість білка в день, кг	704	607	612

Виявлено, що при згодовуванні коровам плющеного зерна добовий удій зростав на 3,2 кг, хоча жирність молока зменшувалася на 0,09 %. У перерахунку на 4%-ну жирність молочна продуктивність підвищувалася на 11,9 %. Разом із тим, подрібнене зерно має певні недоліки: воно схильне осідати в рубці та швидко проходити через передшлунки жуйних тварин, що погіршує доступність і засвоєння поживних речовин.

Сучасні технології приготування кормів на основі плющення зерна мають суттєві переваги над його дробленням і забезпечують отримання корму з кращими якісними показниками.

Технологія плющення дає змогу підвищити засвоюваність корму до 95% (тоді як під час дроблення лише до 70%) і помітно зменшити споживання електроенергії порівняно з процесом дроблення.

Саме плющення зерна дає можливість отримати корм, найбільш відповідний біохімічним процесам, що відбуваються у рубці жуйних тварин. У процесі плющення порушується зовнішня клітковинна оболонка, яка зазвичай обмежує проникнення ферментів до поживних компонентів. Завдяки цьому площа контакту поживних речовин із ферментною системою травного тракту тварин збільшується в кілька разів.

Отримане зерно має оптимальні розміри для рівномірного розповсюдження по всій порожнині рубця, що забезпечує ефективніше використання мікроорганізмами вуглеводів і білків. У результаті білок нижчої цінності легко трансформується в повноцінний мікробіальний білок (амінокислотний склад якого найбільше наближений до складу молока), який надалі є поживним ресурсом для тварини.

Для поступового привчання поросят і телят до сухих рослинних кормів, а також для активізації процесів жування та слиновиділення, їм згодовують підсмажене зерно ячменю, кукурудзи чи гороху.

Перед обсмажуванням зерно попередньо замочують, після чого підсмажують на листі, постійно помішуючи, доки воно не набуде світло-коричневого (кавового) відтінку. У результаті теплової обробки зернини стають крихкими, збільшуються в об'ємі приблизно у 1,5 раза та отримують солодкуватий смак завдяки декстринізації крохмалю.

Відлущування полягає у видаленні плівок з вівсяного та ячмінного зерна перед його згодовуванням ягнятам, телятам і поросят-сисунам. У процесі отримують дерть із зерна, відокремлюючи плівки, які згодом використовують для годування дорослих жуйних тварин. Для здійснення цієї операції застосовують луцильні машини різних типів. Завдяки відлущуванню частка клітковини в комбікормах для поросят зменшується до 3 %, що сприяє підвищенню їх приросту живої маси.

Варіння або запарювання зерна злакових культур є малоефективним через високі витрати енергії. Проте для бобових культур (сої, люпину, кормових бобів) ці методи доцільні, оскільки допомагають знизити активність антиферментних речовин та підвищують засвоюваність протеїну.

Флакування передбачає виробництво пластівців із зерна у спеціальних парових камерах під тиском. Під впливом пари за температури близько 100 °С крохмаль желатинізується, завдяки чому поліпшується його перетравність. У результаті продуктивність пластівців перевищує показники подрібненого зерна.

Підготовка сировини до процесів екструджування чи гранулювання зазвичай включає змішування інгредієнтів. Цю операцію виконують як на окремому обладнанні переважно в різних типах змішувачів, так і у вузлах, інтегрованих у основні машини (екструдери, гранулятори).

Під змішуванням розуміють процес, у ході якого складники, що спочатку перебувають у розділеному стані, під впливом робочих органів утворюють однорідну суміш. Процес є досить складним і включає кілька основних механізмів:

- конвективне змішування переміщення частинок компонентів у просторі з їх одночасним розподілом серед інших елементів суміші;
- дифузійне змішування аналогічне до броунівського руху, характеризується хаотичним переміщенням частинок і перерозподілом компонентів через утворення нових меж між ними;
- змішування зсувом переміщення сусідніх шарів частинок відносно один одного.

У комбікормовій промисловості отримали достатнє розповсюдження шнекові змішувачі різних конструкцій: одношнекові, багатошнекові та з використанням різнотипних конструкцій шнеків.

До переваг шнекових змішувачів слід віднести малі енерговитрати на перемішування компонентів суміші, можливість забезпечення безперервного змішування та поєднання в одній машині операцій завантаження,

перемішування, транспортування, дозування та вивантаження суміші сипких матеріалів.

Конструктивні особливості змішувача визначають, який зі згаданих механізмів є домінуючим, хоча всі вони відбуваються одночасно і впливають на процес у різному ступені.

У змішувальному обладнанні активним робочим елементом може виступати як сама змішувальна камера (наприклад, у барабанних змішувачах), так і розташовані всередині неї мішалки. За конструкцією мішалки поділяються на лопатеві, шнекові та стрічкові. В залежності від орієнтації робочих органів відносно горизонту змішувачі можуть бути горизонтальними, вертикальними або встановленими під кутом. За кількістю робочих органів виділяють одно-, дво- та багатовальні моделі.

Найбільшого поширення набули змішувачі періодичної дії порівняно з обладнанням безперервної дії. Робота таких змішувачів включає послідовні етапи: завантаження складових, їх змішування та вивантаження готового продукту. Така організація процесу дає можливість застосовувати вагові дозатори, що забезпечують високу точність дотримання рецептури. Однак змішувачі безперервного типу мають перевагу за показниками енерговитрат та металомісткості.

Під час змішування компоненти суміші постійно зазнають дії робочих органів. Їхня конструкція повинна забезпечувати незалежне переміщення частинок, завдяки чому кожен елемент суміші матиме однакову ймовірність потрапляння в робочу зону, що гарантує рівномірний розподіл і високу однорідність.

Рівень змішування визначається конструкцією робочих елементів. Доведено, що збільшення кроку шнека покращує якість змішування, оскільки зі зростанням кута підйому гвинтової лінії зростає різниця швидкостей руху окремих порцій матеріалу, що сприяє інтенсивнішому перемішуванню. Серед найпоширеніших змішувальних апаратів барабанні змішувачі (рис . 2.7), які забезпечують достатньо якісне перемішування.

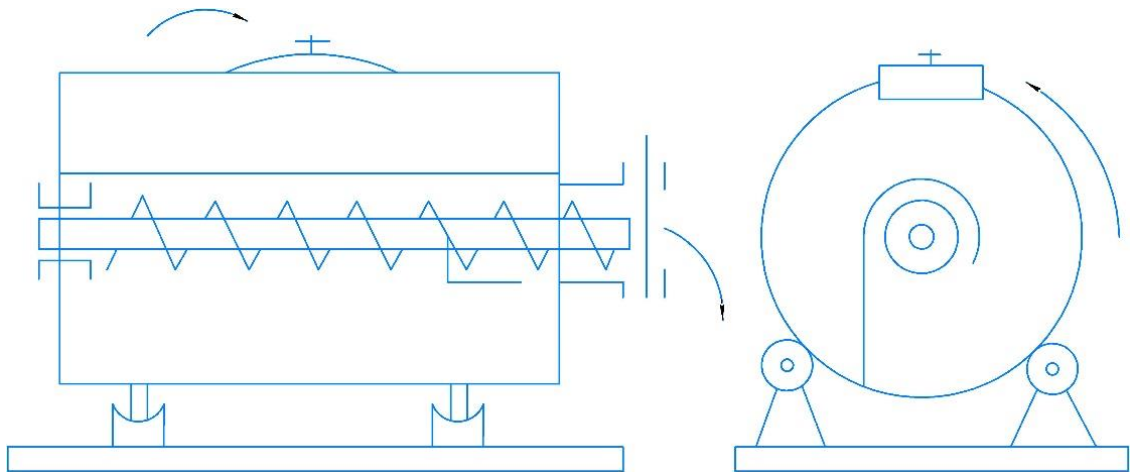


Рис. 2.7. Конструктивно-функціональна схема барабанного змішувача періодичної дії.

До їхніх недоліків належать складність подавання компонентів і вивантаження готового матеріалу, а також значна маса, відносно висока вартість та підвищені енергозатрати. Барабанні змішувачі можуть мати циліндричний або конічний корпус.

Барабанні змішувачі періодичної дії являють собою горизонтальний циліндр, закритий з торцевих частин, змонтований на опорних роликах або закріплений на валу та здатний обертатися. Компоненти завантажують через спеціальний люк, який потім герметично закривають.

Під час обертання барабана сила тертя між кормом і внутрішньою поверхнею захоплює нижні шари матеріалу та піднімає їх на певну висоту. Після цього маса падає вниз і знову підхоплюється барабаном. Багаторазове перекидання забезпечує якісне перемішування суміші.

У безперервних барабанних змішувачах інгредієнти постійно надходять через один відкритий кінець барабана, переміщуються всередині нього та поступово прямують до іншого кінця. Інтенсивність змішування регулюють шляхом зміни кута нахилу лопаток, закріплених на внутрішній стінці барабана, або зміною кута нахилу самого барабана.

Лопатеві змішувачі належать до універсального обладнання, що може працювати у періодичному або безперервному режимі. Конструктивно вони виконуються з одним чи двома валами робочого органу (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Лопатевий змішувач.

Пристрій включає стаціонарний корпус, усередині якого на горизонтальному або вертикальному валу по гвинтовій траєкторії розміщені лопаті. Лопаті встановлюють під кутом до напрямку переміщення суміші. Для підвищення якості змішування на внутрішній стінці корпуса додатково монтують нерухомі елементи.

Лопатеві змішувачі можуть відрізнятися за способом кріплення лопатей, їх кількістю, а також за формою та конструктивними особливостями. До основних недоліків такого обладнання належать підвищені енергетичні витрати під час перекидання суміші та ризик пошкодження або подрібнення її складових у процесі перемішування.

Останнім часом здійснюються наукові дослідження, спрямовані на створення вібраційних змішувачів (рис.2.9).

Варто підкреслити, що такі змішувачі належать до комбінованих видів обладнання. Вони поєднують у собі процеси перемішування та інтенсивної механічної дії на матеріал, що сприяє підвищенню однорідності суміші. Завдяки вібраційним коливанням досягається ефективне руйнування

агломератів, поліпшується проникнення компонентів один у одного та зменшується час процесу змішування.

Конструктивно такі змішувачі можуть виконуватися у вигляді горизонтальних або вертикальних ємностей із приводом, який генерує коливальні рухи робочих органів. Частота та амплітуда вібрацій підбираються залежно від фізико-механічних властивостей компонентів суміші.

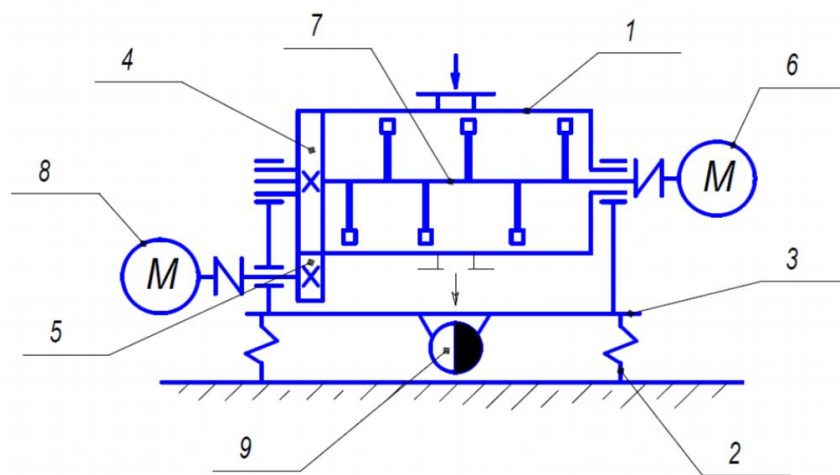


Рис. 2.9. Схема вібраційного змішувача: 1 – робоча камера; 2 – пружина;
2 – рухома платформа; 4 – боковина; 5 – привідна шестерня;
6, 8 – електродвигун; 7 – лопатева мішалка; 9 – вібробудувач.

До переваг вібраційних змішувачів належать:

- висока якість змішування різнорідних матеріалів;
- можливість обробки матеріалів із різною дисперсністю;
- зниження енерговитрат порівняно з традиційними типами змішувачів;
- компактність та простота конструкції.

Перспективним напрямом розвитку таких машин є автоматизація системи керування та інтеграція інтелектуальних алгоритмів для оптимізації режимів змішування відповідно до властивостей сировини. До недоліків вібраційних змішувачів комбікормів належать такі особливості: вони характеризуються невисокою продуктивністю та недостатньою надійністю

вузлів, що створюють вібрацію корпусу. Окрім цього, їхній привід має більш складну конструкцію.

Змішувач періодичної дії СП-1 із планетарно-шнековою мішалкою зображено на рисунку 2.10.



Рис. 2.10. Стрічковий змішувач.

Його конструкція включає привід 1, водило 2, шнек 3 та конічний корпус 4. Під час роботи обертальний рух від приводу через водило передається шнеку, який не лише обертається навколо власної осі, а й рухається по конічній поверхні корпусу 4, забезпечуючи перемішування матеріалу всередині робочої зони.

Стрічкові змішувачі мають різні назви, зокрема протитоківі або зі стрічками, що утворюють зустрічні витки. Швидкість обертання їх валу зазвичай становить близько 30 об/хв.

З конструктивної точки зору такі змішувачі виготовляють у циліндричному або U-подібному корпусі. Варіант із U-подібною формою має більшу місткість і є зручнішим у технічному обслуговуванні та ремонті. Вивантаження готової суміші здійснюють через нижній отвір або шляхом нахилу U-подібного корпусу.

Змішувач комбікормів КС-600 – це обладнання для тваринництва. Призначений для змішування сипучих компонентів у виробництві

комбікормів: зерна, шроту, преміксів, концентратів, мінеральних добавок (за винятком рідких речовин) (рис.2.11).

Використовується як окремо, так і в складі комбікормового цеху або лінії: наприклад, перед грануляцією.



Рис. 2.11. Змішувач комбікормів КС-600 з вертикальним валом змішування.

Вертикальний шнек забезпечує інтенсивне перемішування, а здатність додавати інгредієнти в процесі роботи дозволяє зменшити витрати часу. Конструкція може доповнюватися різним додатковим обладнанням, зокрема вбудованими вагами чи циклоном.

На основі проведеного аналізу конструкцій обладнання, призначеного для підготовки сировини до процесу екструдювання, встановлено, що раціональним є застосування шнекових механізмів. Такі пристрої забезпечують поєднання в одному агрегаті низки технологічних операцій: безперервного перемішування компонентів кормової суміші, її транспортування, дозування та відведення підготовленої сировини.

Завдяки цьому шнекові системи дозволяють зменшити кількість обладнання на виробничій лінії, підвищити компактність та надійність технологічного процесу.

Крім того, їх застосування сприяє рівномірності подачі матеріалу в екструдер, що позитивно впливає на стабільність показників оброблення та

якість готового продукту. Подальше вдосконалення конструкції цих пристроїв може бути спрямоване на оптимізацію геометричних параметрів шнека, підвищення зносостійкості робочих поверхонь і розширення функціональних можливостей обладнання.

2.3 Аналіз роботи одношнекових екструдерів

Обґрунтування параметрів екструдера з регульованим теплопідводом. Використання даного типу дозволяє поліпшити якість готового продукту за рахунок використання щадного режиму обробки сировини, звести до мінімуму втрати живильних речовин у робочій камері екструдера й стабілізувати тиск у передматричній зоні екструдера.

Екструдер (рис. 4.1) містить корпус із завантажувальним патрубком, привід, станину, розташований у корпусі шнек із гвинтовою нарізкою й матрицю. У передматричній зоні встановлено три послідовно розташовані камери охолодження. Кожна камера має кільцеву форму й облаштована патрубками для підведення вихідного холодоагенту й відводу відпрацьованого холодоагенту.

Причому всі три сполучні отвори зміщені один відносно іншого таким чином, щоб екструдат переміщався по максимально можливій довжині каналу, тобто максимальний час перебував у камері.

Кут нахилу лопаток овальної форми вибирається таким чином, щоб забезпечити захват основного потоку продукту, переміщення його уздовж кільцевого каналу й видавлювання через сполучний отвір у сусідню камеру охолодження.

При порушенні стійкого режиму роботи екструдера (пульсації тиску, яка може виникнути, наприклад, при наявності недостатньої однорідності складу суміші, зміні режиму роботи або при зміні рецептури суміші і т.д.) потрібно швидко оперативне втручання, спрямоване на підтримку

стабільного тиску, за допомогою відводу частини теплоти із передматричної зони за рахунок подачі холодоагенту в камери охолодження.

Пропонований екструдер працює в такий спосіб. Вихідний продукт завантажується в екструдер через завантажувальний патрубок. Включається привід і шнек починається захоплювати й переміщати продукт. Потім продукт послідовно переміщається через зони завантаження, змішування, гомогенізації й дозування за допомогою обертового шнека. У міру просування продукт переміщується в зоні змішування, нагрівається й розм'якшується. Далі в зоні гомогенізації відбувається перетворення розм'якшених круп або зернові суміші зернових і бобових культур в однорідний розплав за рахунок зростання тиску.

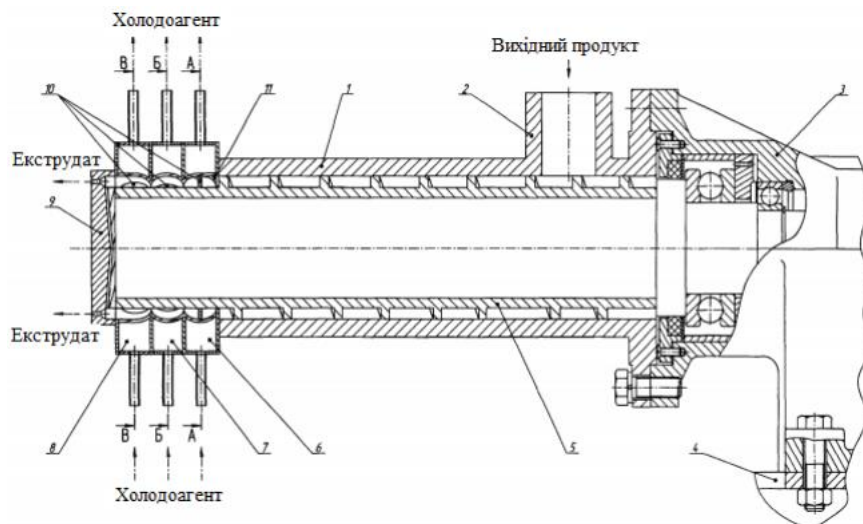


Рис. 2.12. Екструдер з регульованим теплопідводом: 1 – корпус; 2 – завантажувальний патрубок; 3 – привід; 4 – станина; 5 – шнек; 6, 7, 8 – камери охолодження; 9 – матриця; 10 – похилі лопатки овальної форми; 11 – сполучний отвір.

Тиск розплаву продукту в зоні дозування досягає бажаного значення, відбувається остаточне розплавлення дрібних включень і утворюється розплав однорідний за структурою й температурі. Це дозволяє для нормальної роботи екструдера мати задану, однорідну по перетину температуру розплаву продукту.

Використання екструдера дозволить оптимізувати процес екструдювання різної вихідної сировини за рахунок підтримки сприятливого тиску внаслідок регулювання величини температури продукту в передматричній зоні, одержувати екструдати високої якості завдяки розв'язку проблеми стабілізації тиску, звести до мінімуму втрати корисних харчових речовин у робочій камері екструдера.

Обґрунтування конструктивних параметрів екструдера з матрицею. Використання даного типу дозволяє регулювати й підтримувати необхідний тиск у заданих межах у матричній зоні екструдера.

Шнековий екструдер (рис. 2.13) містить циліндричний корпус 1, що закінчується формувальною головкою 10, що виконана з можливістю обертання щодо корпусу, завантажувальний пристрій 2 і шнек 3.

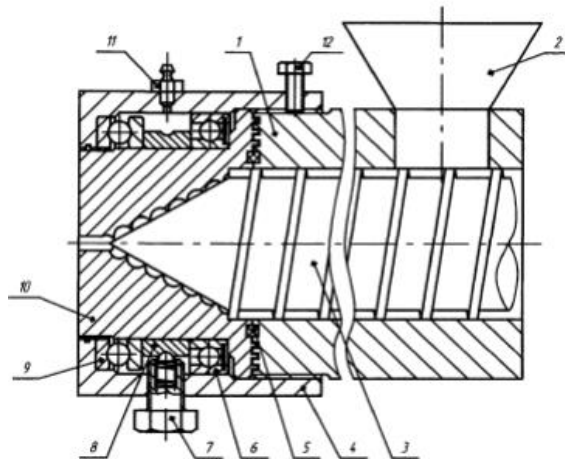


Рис. 2.13. Екструдер з матрицею, що гасить пульсації тиску: 1 – корпус; 2 – завантажувальний пристрій; 3 – шнек; 4 – гільза; 5 – чепцеве ущільнення; 6, 9 – підшипники; 7 – притискний пристрій; 8 – втулка; 10 – формувальна головка; 11 – маслянка; 12 – стопорний болт.

Екструдер працює в такий спосіб. Вихідний продукт завантажується в екструдер через завантажувальний патрубок 2. Включається привід і шнек 3 починається захоплювати й переміщати продукт. Потім продукт послідовно переміщається через зони завантаження, змішування, гомогенізації й дозування за допомогою обертового шнека 3. У міру просування продукт

переміщується в зоні змішування, нагрівається й розм'якшується. Далі в зоні гомогенізації відбувається перетворення розм'якшеної зернової суміші в однорідний розплав за рахунок зростання тиску.

Тиск розплаву продукту в зоні дозування досягає бажаного значення, відбувається остаточне розплавлення дрібних включень і утворюється розплав, однорідний за структурою й температурі. Це дозволяє для нормальної роботи екструдера мати задану, однорідну по перетину температуру розплаву продукту.

Обґрунтування конструкції шнекового екструдера для виробництва двошарових продуктів. Шнековий екструдер такого типу дозволяє одночасно обробляти дві вихідні суміші з різними реологічними властивостями й одержувати двошарові продукти. Наприклад, зернова суміш і добавки кормового призначення.

Шнековий екструдер (рис. 2.14) містить циліндричний корпус 1, порожній шнек 2 і матрицю 4. На внутрішній циліндричній поверхні порожнього шнека 2 виконана гвинтова нарізка. Кінцева частина внутрішньої циліндричної поверхні порожнього шнека 2 виконана гладкою – без нарізки. Крок нарізки й глибина внутрішнього гвинтового каналу шнека 2 зменшуються в напрямку виходу продукту.

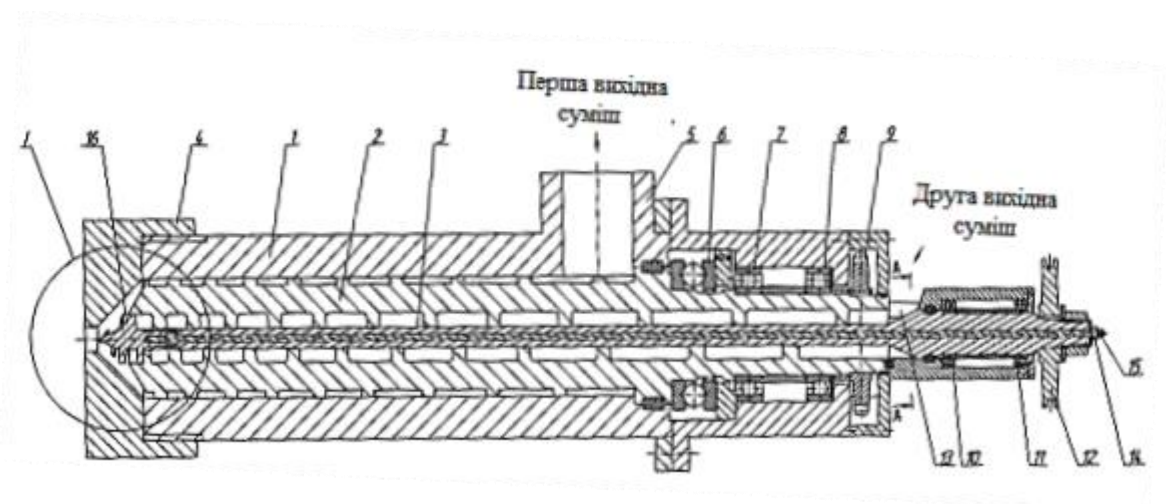


Рис. 2.14. Шнековий екструдер для виробництва двошарових продуктів.

Для нормальної роботи екструдера необхідно мати однаковий тиск розплаву першої й другої вихідних сумішей. Рівність тисків забезпечує плавний паралельний плин розплавів у передматричній зоні. Потім комбінований екструдат виходить із екструдера через вихідний отвір циліндричної форми в матриці.

Така конструкція дозволить: розширити асортименти комбінованих багатошарових продуктів, одержуваних за рахунок одночасної екструзії двох вихідних сумішей з різними реологічними властивостями; оптимізувати процес екструдювання різних вихідних сумішей за рахунок підведення необхідної кількості теплоти внаслідок варіювання частоти й напрямку обертання вала; стабілізувати тиск двох потоків продукту в передматричній зоні екструдера за рахунок регулювання тиску другої вихідної суміші шляхом зміни частоти й напрямку обертання вала.

Висновки до розділу II

В розділі проведено технічне обґрунтування будови та основних характеристик екструдерів. Розглянуто технічне обладнання для попередньої обробки сировини перед екструзією.

Використання дробарок, плющильних і змішувальних машин дозволяє досягти необхідного рівня подрібнення та однорідності сировини, що підвищує ефективність екструзії.

Проведений аналіз роботи одношнекових екструдерів, а саме роботу екструдера з регульованим теплопідводом, шнекового екструдера для виробництва двошарових продуктів та екструдера з матрицею.

РОЗДІЛ III РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ

3.1 Розробка конструкції установки для екструзії кормів

Для реалізації поставленої мети було спроектовано та виготовлено макетну установку для процесу екструзії кормів, загальний вигляд якої подано на рисунку 3.1. Створена установка складається з екструдера 1, вузла підготовки суміші до екструдування 2, перетворювача частоти електричного струму 3 та комп'ютера 4. Вузол підготовки суміші до екструдування виконано у вигляді транспортера з гофрованою спіраллю.

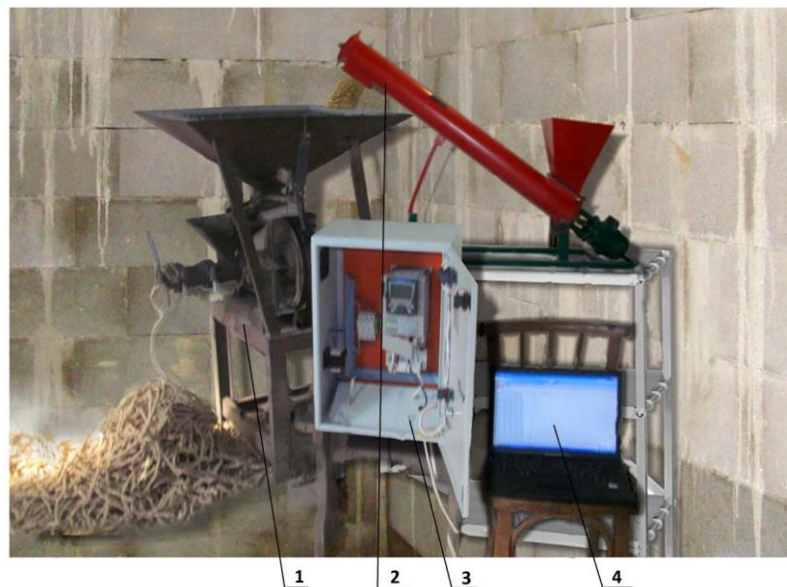


Рис. 3.1. Загальний вигляд макетного зразка установки: 1 – екструдер; 2 – вузол підготовки суміші до екструдування; 3 – перетворювач частоти електричного струму Altivar 71; 4 – комп'ютер.

Екструдер [10] (рис. 3.2 і 3.3) складається з рами 1, на якій розміщено електродвигун 2 типу AIP100L4 потужністю 4 кВт та частотою обертання 1500 об/хв, із коефіцієнтом зсуву фаз $\cos\varphi = 0,82$.

На вихідному валу електродвигуна встановлено шків 3, що через клинопасову передачу 4 передає обертовий момент на шків-маховик 5, який приводить у дію гвинт робочої частини екструдера 6. У верхній частині рами

1 закріплено бункер 7 з лотком 8, призначений для накопичення та подачі зернової суміші у завантажувальну горловину робочої частини екструдера. Для регулювання інтенсивності подачі суміші бункер оснащено заслінкою 9.

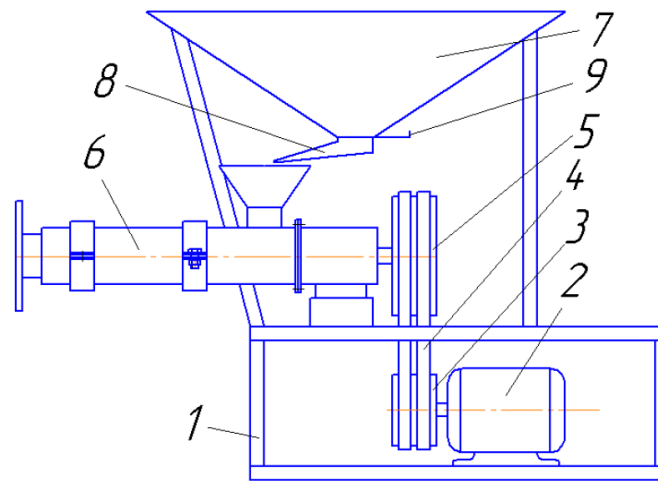


Рис. 3.2. Схема екструдера (патент України на корисну модель №109801: 1 – рама; 2 – електродвигун; 3 – шків; 4 – клиновидні паси; 5 – шків-маховик; 6 – робоча частина екструдера; 7 – бункер; 8 – лоток; 9 – заслінка.

Пара «гвинт – корпус» робочої частини екструдера (рис. 3.3) має секційну будову. Секції гвинта 7, 9 і 12 змонтовані на валу 1 за допомогою призматичної шпонки 15. На їхній зовнішній поверхні виконано по чотири витки гвинтових канавок напівкруглого профілю з різним кроком [17].

Зокрема, на першій секції 7, по напрямку руху матеріалу, крок становить 21 мм, на другій секції 9 – 19 мм, а на третій 12 – 17 мм. Таким чином, різниця між кроками суміжних секцій дорівнює 2 мм. Секції гвинта з'єднані щільно, що забезпечує утворення безперервної гвинтової лінії. Від осьового зміщення секції фіксуються конусною гайкою 14.

Секційний гвинт розташований у циліндричному секційному корпусі, який складається з елементів 4, 5 і 6, з'єднаних між собою хомутами 11. Гвинтові канавки секцій 7, 9 і 12 мають ширину (довжину хорди), яка на 3 мм перевищує довжину хорди пружин 8, 10 і 13 на рівні зовнішнього діаметра відповідних секцій (рис. 3.4, вид А).

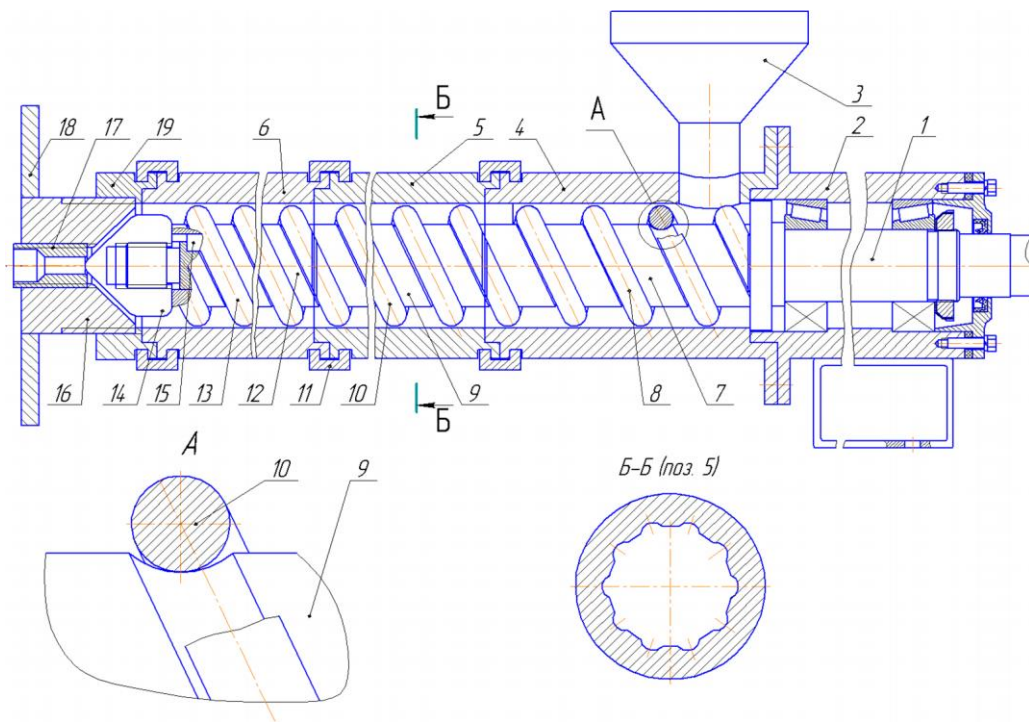


Рис. 3.3. Конструкція гвинтового робочого органу екструдера з пружним елементом: 1 – вал; 2 – корпус підшипникової опори; 3 – завантажувальна горловина; 4, 5 і 6 – секції корпусу екструдера; 7, 9 і 12 – секції гвинта; 8, 10 і 13 – пружини; 11 – хомут; 14 – гайка конусна; 15 – шпонка; 16 – мундштук; 17 – фільєра; 18 – рукоятка; 19 – гайка М50х2.

Робоча частина екструдера функціонує таким чином. Підготовлена зернова суміш через завантажувальну горловину 3 надходить у міжвитковий простір гвинта (рис. 3.4) і транспортується ним у напрямку до фільєри.

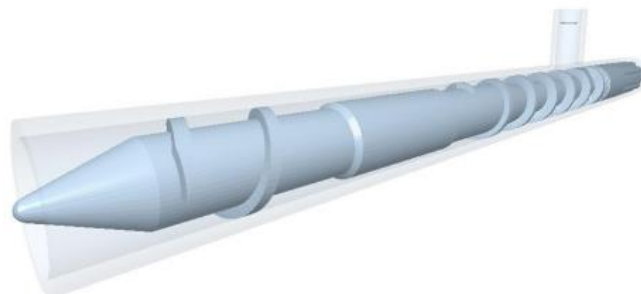


Рис. 3.4. Тривимірна модель шнеку.

У результаті змішування маса стає однорідною, набуває в'язко-текучих властивостей і піддається процесу екструзії. У робочій камері екструдера

зернова суміш нагрівається до температури 120...150 °С, при цьому тиск у зоні останнього витка гвинта може досягати 3,9 МПа.

Під дією високого тиску розплавлена маса створює осьове зусилля, спрямоване вздовж осі гвинта. Оскільки гвинтові канавки секцій 7, 9 і 12 мають ширину (довжину хорди), що перевищує відповідну довжину пружин 8, 10 і 13 на зовнішньому діаметрі секцій, а самі пружні елементи формують суцільну спіраль, це спричиняє їхнє зміщення у напрямку завантажувальної горловини.

Одним із недоліків одногвинтових екструдерів є коливання тиску в зоні перед матрицею. У разі зниження тиску пружні елементи зміщуються у зворотному напрямку. Таким чином, коливання тиску викликають вібрацію пружних елементів гвинта, що покращує умови захоплення матеріалу у зоні завантаження та зменшує опір його руху до зони пластифікації, що, своєю чергою, сприяє підвищенню продуктивності екструдера [6,11].

Під час виготовлення повноцінних і збалансованих кормів для тварин методом екструдювання, коли до зернової основи додають різноманітні мікроелементи та небілкові азотисті сполуки, виникає проблема забезпечення однорідності суміші за вмістом компонентів.

Для досягнення рівномірного розподілу складових необхідно проводити попереднє змішування компонентів перед процесом екструдювання. З цією метою розроблено конструкцію вузла підготовки суміші до екструдювання, схему якого наведено на рисунку 3.5.

Вузол підготовки суміші до екструдювання являє собою раму 1, на якій жорстко закріплено кожух 2, електродвигун 3 із муфтою 4 та гофрований робочий орган 5 (рис. 3.5 б), що має чергування впадин 6 і виступів 7. У нижній частині кожуха 2 розміщено бункер із шибром, через який подається матеріал. Під час роботи він переміщується у зону вивантаження, забезпечуючи рівномірне змішування компонентів перед подачею в екструдер.

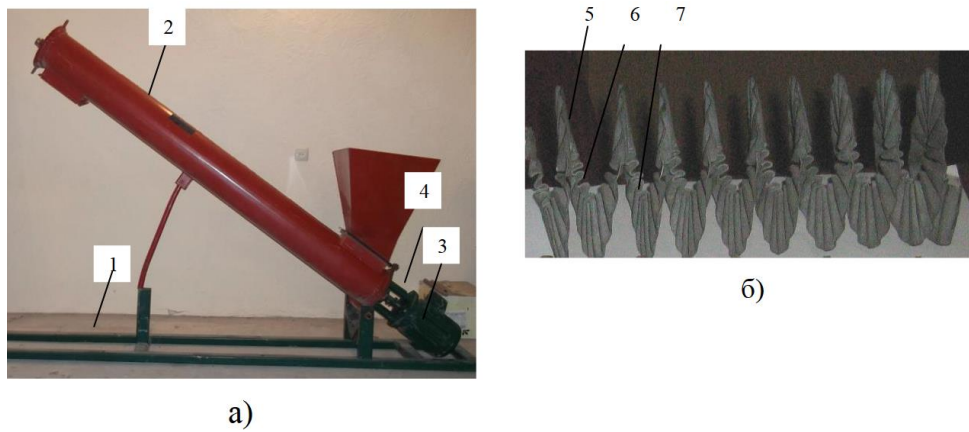


Рис. 3.5. Вузол підготовки суміші до екструдювання: а) – загальний вигляд, 1 – рама; 2 – кожух; 3 – електродвигун; 4 – муфта; б) – загальний вигляд робочого органу, 5 – гофрований робочий орган; 6 і 7 – впадини і виступи гофр.

Конструкції гвинтових робочих органів екструдерів знаходять широке застосування в харчовій і переробній промисловості завдяки розширеним технологічним можливостям, що забезпечуються підвищеною надійністю та вдосконаленою будовою.

Виробництво якісної кормової суміші можливе лише за умови стабільної та збалансованої роботи екструдера. Однак на практиці на ефективність його функціонування впливає низка чинників, що зумовлює коливання продуктивності та обсягу отриманого екструдату. Унаслідок цього більшість екструзійних установок характеризуються коефіцієнтом корисної дії у межах 45–75% при задовільній якості кінцевого продукту [4].

У роботі розглянуто конструкцію установки для приготування кормової суміші, яка являє собою раму з жорстко закріпленим у нижній частині електродвигуном і приводом.

У верхній частині приводу розташовано маховик зі шківом та валом робочого органу. На зовнішній поверхні вала жорстко, з можливістю осьового переміщення, встановлено окремі секції шнеків, на кожній із яких нарізано по 3–4 витки різного кроку.

Шнеки розташовані послідовно, утворюючи суцільну гвинтову лінію. На внутрішньому діаметрі втулки рівномірно по колу виконано 8–12 півкруглих наскрізних пазів, що забезпечують відносний рух елементів при швидкості обертання 1000 об/хв і більше [4].

Якість кінцевої продукції тісно пов'язана з показниками продуктивності та визначається конструктивними параметрами робочих органів екструдера (рис. 3.6 а, б).



а)



б)



в)

Рис. 3.6. Робочий орган екструдера – а, вал – б та поверхня зламу валу – в;
А -місце зародження тріщини.

В результаті аналізу поверхні зламу зруйнованого валу встановлено, що тріщина має втомний характер і зародилася в зоні шпоночного паза. Термічна обробка, що включала гартування та відпуск, сприяла утворенню мікротріщин термічного походження на дні цього паза.

Важливо підкреслити, що тріщина характеризується досить гладкою поверхнею, нетиповою для умов циклічного навантаження за значного крутного моменту. Це свідчить про те, що руйнування сталося після досягнення тріщиною критичної довжини.

Одним із сучасних і найбільш результативних методів оцінювання напружено-деформованого стану конструктивних елементів робочого органу екструдера (рис. 3.7) є моделювання. Суть цього підходу полягає в тому, що

досліджуваний об'єкт подається у вигляді моделі, яка складається з елементів зі скінченною кількістю ступенів свободи [1, 6].

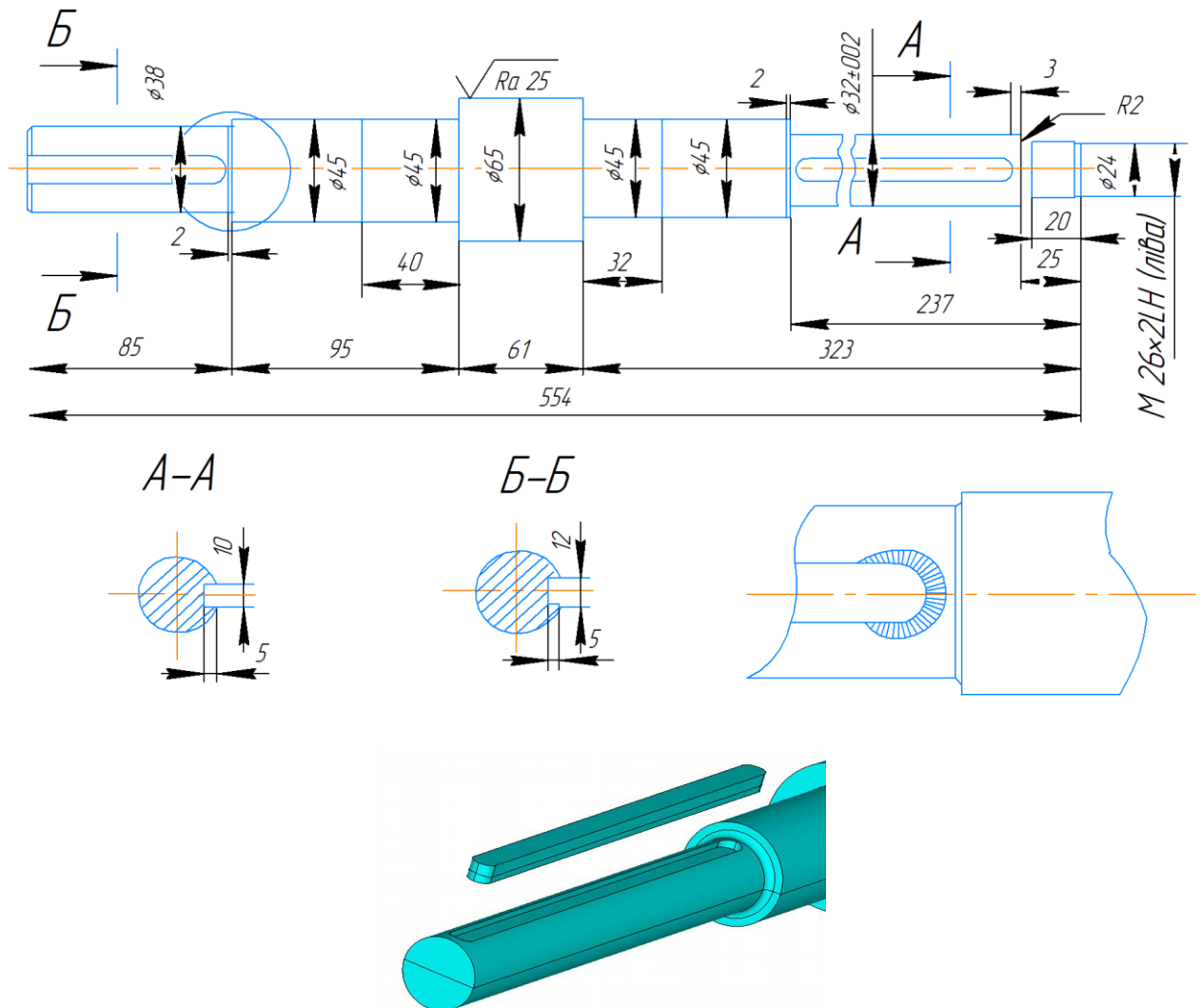


Рис. 3.7. Модель валу у вигляді твердого тіла для оцінки напружено-деформованого стану контактних поверхонь шпонки та шпоночної канавки.

3.2 Визначення продуктивності розробленого екструдера

Експерименти здійснювалися із застосуванням розроблених установок з метою підтвердження теоретичних положень та отримання експериментальних залежностей, необхідних для обґрунтування параметрів робочого органу екструдера з пружним гвинтовим елементом і вузла підготовки зернової суміші. Виходячи з поставленої мети та завдань, було сформовано програму виконання експериментів, які передбачають:

- розроблення та виготовлення експериментальної установки;
- розроблення методик щодо визначення продуктивності екструдера з пружним гвинтовим елементом, енерговитрат під час екструдювання зернової суміші, індексу розширення екструдату та підготовки зернової суміші до екструдювання;
- планування та виконання багатофакторних експериментів для встановлення впливу параметрів екструдера з пружним гвинтовим елементом на продуктивність та енерговитрати процесу;
- планування та реалізацію багатофакторних експериментів для визначення впливу параметрів пружного екструдера на індекс розширення екструдату;
- оцінювання якості процесу підготовки зернових компонентів до екструдювання.

Питому енергоємність процесу екструзії визначали так:

$$C = \frac{3IU \cos \varphi}{G},$$

де C – питома енергоємність процесу екструзії, кВт·год/т;

I – сила струму, А;

U – напруга на фазах, В;

G – масова продуктивність екструдера, т/год.

Об'ємну продуктивність екструдера визначали за формулою:

$$Q = \frac{G}{\rho}$$

де ρ – щільність екструдату, т/м³.

У межах експериментальної програми було заплановано реалізацію таких етапів:

- створення та виготовлення модуля попередньої підготовки суміші під час її подачі до екструдера з можливістю регулювання параметрів процесу;

– проаналізувати вплив частоти обертання робочого елемента модуля підготовки суміші та його конструктивних особливостей на показники процесу змішування.

Для визначення оптимальних параметрів і режимів роботи вузла підготовки суміші до екструдювання вважається, що підготовка є достатньо ефективною за умови, коли неоднорідність суміші не перевищує 10 %.

Виявлено, що густина екструдату пов'язана з його індексом розширення залежністю, поданою на рисунку 3.8.

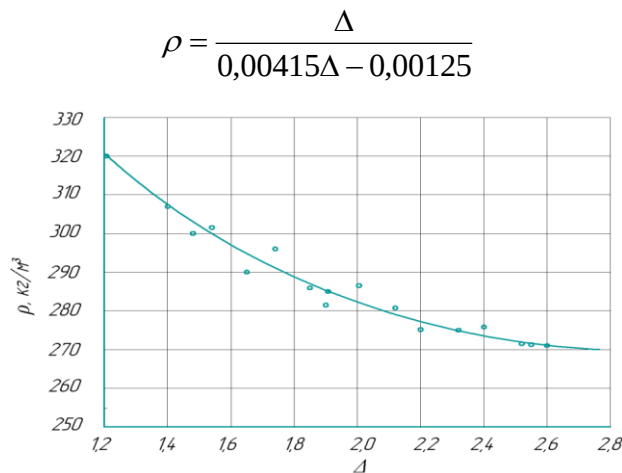


Рис. 3.8. Залежність зміни густини екструдату від його індексу розширення.

Отже, можна дійти висновку, що питомі енерговитрати під час екструзії зернової суміші не перевищуватимуть 59 кВт·год/т за умови, що глибина гвинтового каналу складатиме 6,0...7,5 мм, а кількість пазів на внутрішній поверхні корпусу екструдера становитиме 6...9.

Рівняння регресії, яке характеризує зміну об'ємної продуктивності екструдера з пружним гвинтовим елементом залежно від частоти обертання гвинта n , об/хв; глибини гвинтового каналу h , мм; кроку гвинта t , мм та числа пазів m на внутрішній поверхні корпусу екструдера, наведене у закодованому вигляді. Для переходу до натурального масштабу змінних застосовано такі співвідношення:

$$X_1 = \frac{n-500}{300}; X_2 = \frac{h-6}{2}; X_3 = \frac{t-21}{2}; X_4 = \frac{m-8}{4}$$

Рівняння регресії, подане зі змінними у їхньому природному масштабі:

$$Q = -1,7 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-5} n + 4,16 \cdot 10^{-3} h + 5 \cdot 10^{-3} t + 1,75 \cdot 10^{-3} m + 6,7 \cdot 10^{-3} nh$$

Рівняння продуктивності, встановлене в ході теоретичних досліджень, має наступний вигляд:

$$Q = \frac{1}{32} \pi n d (D + 2\delta) (4t - \pi d) \cos \gamma + \frac{P_\phi}{12 \mu l} \left[\frac{d^3 (\pi - 2)(4t - \pi d)^2}{256t} - \frac{t \delta^3}{\sin \gamma} \right],$$

де n – швидкість обертання гвинта, об/с;

d – товщина дроту, з якого сформовано пружний елемент, м;

D – зовнішній розмір (діаметр) гвинта, м;

δ – проміжок між гвинтом і стінками корпусу екструдера, м;

γ – кут нахилу гвинтової спіралі пружного елемента, рад;

P_ϕ – тиск, що створюється формувальною частиною пристрою, Па;

μ – динамічна в'язкість матеріалу, Па·с;

l – загальна довжина гвинтового каналу, м;

t – відстань між сусідніми витками гвинта (крок), м.

Виконаймо порівняльний графічний аналіз зазначених залежностей. На рисунку 3.9 подано графіки зміни продуктивності екструдера залежно від частоти обертання гвинта.

Виявлено, що найнижчі питомі енергозатрати під час екструзії досягаються за таких умов: глибина каналу гвинта становить 6,2–7,5 мм; крок першої (за напрямком руху сировини) секції гвинта 21,6–22,7 мм; кількість пазів на внутрішній поверхні корпусу екструдера 5–6.

Крок спіральної канавки другої та третьої секцій гвинта має відповідно дорівнювати 19,6–21,7 мм та 17,6–19,7 мм. За частоти обертання гвинта $n = 7,6$ об/с (або 455 об/хв) графіки продуктивності збігаються, тобто різниця між теоретичними та експериментальними показниками не спостерігається. За таких умов об'ємна продуктивність екструдера становить 0,15 м³/год.

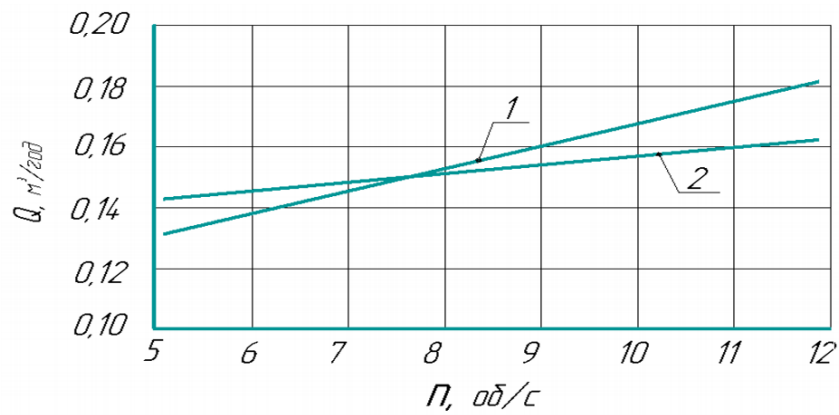


Рис. 3.9. Залежність об'ємної продуктивності екструдера Q від частоти обертання гвинта n , де: 1 – теоретичні значення; 2 – результати експерименту.

На рисунках 3.10 та 3.11 подано графіки зміни питомої енергоємності процесу екструдювання зернової суміші ζ залежно від частоти обертання гвинта n (рис. 3.10) та кроку гвинта t (рис. 3.11).

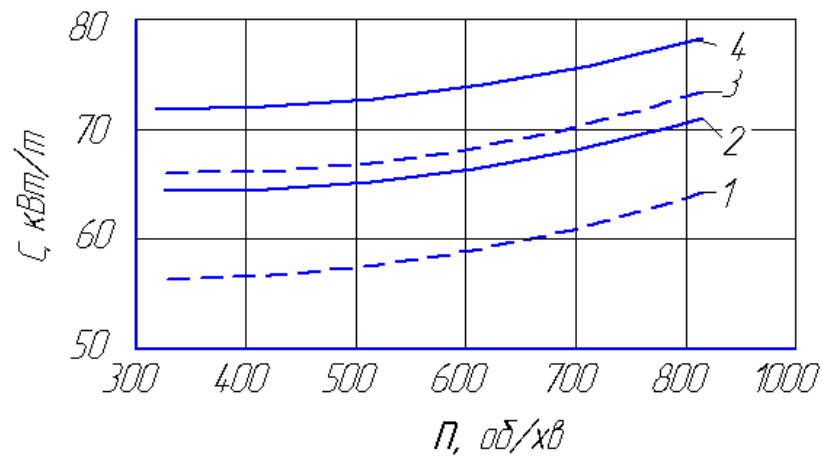


Рис. 3.10. Вплив частоти обертання гвинта на енергоємність екструзії зернової суміші: криві 1 і 3 відповідають екструдеру з пружним гвинтовим елементом, а 2 і 4 – екструдеру з жорстким гвинтом.

Криві 1 і 2 (рис. 3.10) побудовано за таких параметрів: глибина гвинтового каналу $h = 6$ мм, крок гвинта $t = 21$ мм, кількість пазів на внутрішній поверхні корпусу екструдера $m = 8$. Криві 3 і 4 відповідають умовам $h = 4$ мм, $t = 19$ мм та $m = 4$.

З рисунка 3.10 видно, що для обох типів екструдерів зі збільшенням частоти обертання гвинта спостерігається зростання їхньої енергоємності, причому характер цього зростання має параболічну залежність. Розглянемо зміни питомої енергоємності екструдерів, порівнявши між собою криві 1 і 2 та 3 і 4.

Так, за частоти обертання гвинта 350 об/хв. енергоємність екструдера з пружним гвинтовим елементом становить 56,4 кВт/т, тоді як для екструдера з жорстким гвинтом 64,5 кВт/т, що на 12,6 % більше. За частоти 500 об/хв. різниця в енергоємності між екструдерами становить 12,1 %. Для відповідних частот обертання гвинта різниця між енергоємністю (криві 3 і 4) складає 8,3 та 8,1 %.

Порівняння показників питомої енергоємності екструдерів за кривими 1 і 3; 2 і 5; 4 і 6 (рис. 3.11) показало, що екструдер із пружним гвинтовим елементом споживає на 9,4...12,2 % менше енергії, ніж екструдер із жорстким гвинтом. Технічні показники створеного екструдера подано у таблиці 3.1.

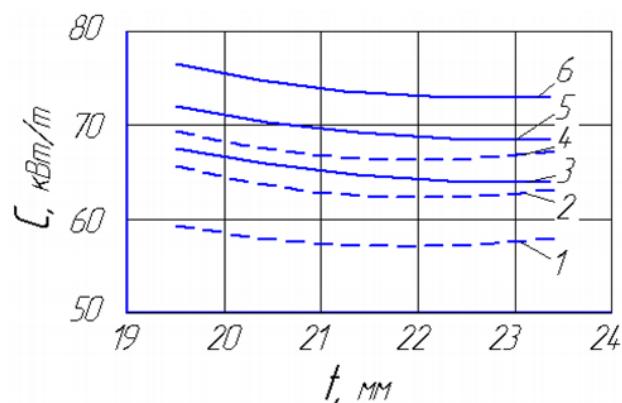


Рис. 3.11. Залежність енергоємності процесу екструдювання зернової суміші від кроку гвинта: 1, 2, 4 – екструдер із пружним гвинтовим елементом; 3, 5, 6 – екструдер із жорстким гвинтом.

Таблиця 3.1

Технічні параметри екструдера

Найменування параметра		Значення параметра
1. Електродвигун АИР100L4	Потужність, кВт	4,0
	Частота обертання, об/хв	1500
2. Кількість секцій корпусу, шт.		3 3
3. Кількість секцій гвинта, шт.		3
4. Зовнішній діаметр гвинта, мм		50
5. Діаметр фільтри, мм		5,5
6. Крок гвинтової навивки секцій гвинта, мм	Перша	22
	Друга	20
	Третя	18
7. Діаметр гвинтової навивки, мм		10
8. Глибина каналу гвинта, мм		8
9. Кількість пазів, нарізаних на внутрішній поверхні корпусу екструдера, шт.		6
10. Довжина хорди гвинтових канавок секцій гвинта, мм		13

Непродуктивний час, необхідний для підготовки основного циклу обробки, охоплює період виведення екструдера на стабільний температурний режим та час, потрібний для його розбирання, очищення й повторного збирання після завершення зміни.

Виявлено, що вихід екструдера на сталий температурний режим триває 10–14 хв, тоді як розбирання, очищення та збирання обладнання наприкінці зміни потребує 20–27 хв. Отже, загальна тривалість непродуктивного часу під час роботи екструдера становить 30–41 хв або 0,50–0,68 год. За таких умов коефіцієнт використання часу зміни τ дорівнюватиме:

$$\tau = \frac{T_o}{T_{зм}}$$

T_o - це тривалість основної роботи за зміну (у годинах);

$T_{зм}$ - тривалість однієї зміни, що становить 8 год.

Основний час роботи протягом зміни визначають як різницю між загальною тривалістю зміни та непродуктивними витратами часу T_H , тобто:

$$T_o = T_{зм} - T_H$$

Отже, тривалість зміни становить $T_o = 7,50 \dots 7,32$ год, а коефіцієнт використання змінного часу τ знаходиться в межах $0,94 \dots 0,92$.

Під час визначення максимально допустимої температури екструзії встановлено, що при перевищенні 165°C відбувається пригорання суміші до корпусу та гвинта екструдера, що спричиняє його зупинку.

3.3 Розробка процесу взаємодії робочих компонентів екструдера

Екструдер є складним механічним апаратом, основною метою якого є перетворення сировини в готовий продукт шляхом її термомеханічної обробки. Ефективність роботи екструдера значною мірою залежить від правильної взаємодії його робочих компонентів. До основних робочих компонентів екструдера належать: шнек (гвинт), циліндр, фільєра, система подачі сировини, привідний механізм та нагрівальні елементи.

На сьогодні існує кілька типів конструкцій екструдерів, які суттєво відрізняються принципом дії та технологічними властивостями. Очевидно, що доцільно вдосконалювати ту конструкцію, яка забезпечує найвищу ефективність процесу екструзії. Обґрунтоване порівняння відомих конструкцій ускладнене через відсутність адекватних критеріїв оцінки та недостатню систематизацію даних про їхні властивості.

Аналіз динамічних процесів у середовищі, побудованому на основі системи матеріальних точок, не отримав достатнього розвитку, оскільки, по-перше, він вимагає обробки великої кількості диференціальних рівнянь руху (зазвичай нелінійних), а по-друге, вибір гіпотез взаємодії між окремими точками системи не завжди піддається узагальненню через різноманітність властивостей середовищ.

Другий підхід (суцільне середовище) базується на інтегральних показниках. Такий підхід до сипкого середовища дозволив створити єдину математичну модель його динаміки (нашарування плоских балок), яка враховує основні фізико-механічні властивості матеріалу.

В основу другого підходу (суцільне середовище) покладені його інтегральні показники. Такий підхід до сипкого середовища дозволив із єдиної позиції побудувати математичні моделі його динаміки (нашарування плоских балок). Вони враховують основні фізико-механічні властивості середовища, особливості його взаємодії з іншими тілами (зазвичай зі стінками), причому ці взаємодії описуються відповідними крайовими умовами. У багатьох випадках для цих моделей розроблено апарат аналітичного інтегрування рівнянь руху, результати якого застосовуються для аналізу процесу віброоброблення деталей або вібросепарації.

Однак під час переміщення середовища вздовж удосконаленого гвинта з пружним елементом відбуваються явища, які суттєво відрізняються від наведених вище. Тому для аналізу процесу переміщення середовища в корпусі екструдера виникає необхідність:

- створення уточненої фізичної моделі системи «середовище – робочий орган з пружним гвинтовим елементом»;
- побудови, на основі обґрунтованих гіпотез, математичної моделі динаміки зазначеного об'єкта;
- розроблення аналітичного апарату для отримання розв'язку математичної моделі динаміки системи «середовище робочий орган з пружним гвинтовим елементом».

Наведене у сукупності слугуватиме основою для підвищення продуктивності екструдера та покращення якості екструдованих кормів. Під час переміщення середовища, що піддається екструзії, будемо вважати:

- середовище повністю заповнює корпус екструдера;
- частинки середовища перебувають у контакті з пружним гвинтовим елементом;

- крок витків гвинта зменшується в напрямку руху середовища;
- гвинтова спіраль є пружним тілом;
- пружний гвинтовий елемент (гвинтова спіраль) екструдера піддається періодичним збуренням.

У такому разі систему можна моделювати як пружне тіло, вздовж якого рухається суцільний потік середовища. Крім того, гвинтова спіраль піддається періодичній силовій дії (рис. 3.12).

Для опису динаміки системи можна застосувати загальні принципи побудови математичних моделей динаміки механічних систем [6]. Відповідно до них розглянемо динамічну рівновагу умовно виділеного елемента системи середовище пружне тіло, на яке діють активні та пасивні сили, а також сили інерції (рис. 3.12).

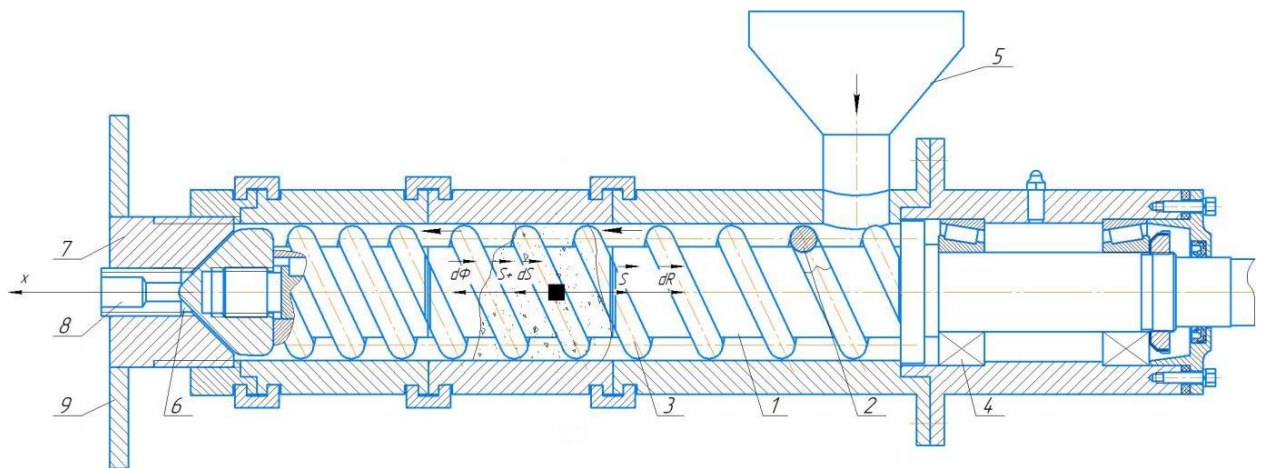


Рис. 3.12. Схема розрахунку взаємодії середовища з пружним гвинтовим елементом екструдера: 1 – вал; 2 – гвинтова канавка; 3 – пружина гвинта; 4 – циліндричний корпус; 5 – завантажувальний бункер; 6 – зона вивантаження; 7 – гайка; 8 – фільтр; 9 – рукоятка; dP – вага виділеного елемента; dP – нормальна реакція; dP – сила опору; d – сила інерції відносного руху елемента разом із гвинтовою спіраллю; S – зусилля, що діє на правий кінець виділеного елемента від відсіченої частини пружини гвинта; S, dS – зусилля, що діють на лівий кінець виділеного елемента з боку відсіченої частини пружини гвинта.

Висновки до розділу III

У розділі обґрунтовано конструкцію установки для екструзії кормів, що дозволяє забезпечити ефективну переробку сировини та отримання високоякісного кінцевого продукту. Розглянуто принцип дії екструдерної установки, який базується на комплексній взаємодії температури, тиску та механічного впливу робочих органів, що забезпечує рівномірне змішування та термообробку кормової маси.

Визначено продуктивність екструдера, що дозволяє оцінити його ефективність при обробці різних видів сировини. Зазначено, що оптимальні параметри і режими роботи вузла підготовки суміші до екструдювання залежать від ефективної підготовки за умови, коли неоднорідність суміші не перевищує 10 %.

Розроблено процес взаємодії робочих компонентів екструдера. Взаємодія робочих органів дозволяє забезпечити рівномірне просування сировини, її термообробку та формування гранул високої якості, зберігаючи фізико-хімічні властивості інгредієнтів.

РОЗДІЛ IV ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Вимоги з організації безпеки праці на підприємстві, що займається виробництвом екструдованих кормів.

Підприємство, що здійснює комплексне виробництво кормових продуктів, має складну організаційну структуру та специфічні особливості технологічних процесів. Виробничі дільниці характеризуються як спільними, так і індивідуальними небезпечними чинниками, які впливають на якість виготовлення кормів. Усі такі об'єкти належать до категорії особливо небезпечних виробництв, тому питання охорони праці в екструзійному виробництві кормів займає важливе місце.

Система контролю заходів з охорони праці на підприємстві є складною та розгалуженою, так само як і загальна структура функціональних зв'язків. Загальна відповідальність за стан охорони праці покладається на керівника підприємства, тоді як організаційно-методичне управління цією сферою здійснює інженер з охорони праці, підпорядкований виключно керівництву. На нього покладено функції з організації, реалізації та контролю заходів щодо охорони праці на всіх виробничих дільницях.

Інженер з охорони праці здійснює контроль за дотриманням чинного законодавства, міжгалузевих, галузевих та інших нормативних документів, виконанням працівниками посадових інструкцій з охорони праці; виконанням вимог органів державного нагляду, рекомендацій і приписів щодо охорони праці; цільовим використанням коштів фонду охорони праці; відповідністю машин, механізмів, обладнання, транспортних засобів, технологічних процесів та засобів колективного й індивідуального захисту встановленим нормам.

Крім того, він контролює наявність технічної документації на робочих місцях, своєчасне проведення навчання, інструктажів, атестацій і

переатестацій щодо безпеки праці для посадових осіб та працівників, що виконують роботи підвищеної небезпеки.

Також забезпечується контроль за видачею засобів індивідуального захисту, лікувально-профілактичного харчування, мийних засобів, наданням санітарно-побутових умов, організацією питного режиму, а також пільгами та компенсаціями, передбаченими законодавством для працівників, зайнятих у важких та шкідливих умовах праці.

Керівники та фахівці ключових структурних підрозділів у сфері охорони праці зобов'язані:

- проводити первинний інструктаж для працівників усіх виробничих дільниць;
- щоденно перевіряти технічний стан обладнання та санітарні умови виробничих приміщень;
- забезпечувати персонал необхідним спеціальним одягом;
- контролювати наявність та своєчасне оновлення інструкцій з охорони праці на робочих місцях;
- наглядати за правильним зберіганням і приготуванням мийних засобів для обладнання;
- здійснювати контроль за станом засобів, що покращують умови праці (освітлення, вентиляція, кондиціонування у виробничих цехах);
- слідкувати за справністю систем аварійної сигналізації;
- контролювати технічний стан та своєчасність перевірок обладнання, яке працює під високим тиском або високими температурами (парогенератори, компресорні станції тощо);
- організовувати раціональний графік роботи операторів фасувальних автоматів, які виконують монотонні конвеєрні операції;
- контролювати наявність і справність електрозахисних пристроїв та засобів;
- здійснювати нагляд за станом продуктових та енергетичних комунікацій у виробничих підрозділах;

– забезпечувати організацію безпечних маршрутів руху транспортних засобів і механізмів у цехах.

4.2 Пожежна безпека при виробництві кормів для тварин

Пожежна безпека на підприємствах, що займаються виробництвом кормів для тварин, є одним із ключових аспектів охорони праці та збереження матеріальних цінностей, оскільки виробничий процес передбачає використання легкозаймистих матеріалів, пилу та високих температур. Основні причини виникнення пожеж у таких умовах пов'язані з накопиченням пилу від зернових культур, який при певній концентрації в повітрі стає вибухонебезпечним, а також з перегріванням механізмів обладнання, електричних контактів і нагрівальних елементів у технологічних процесах.

Щоб забезпечити пожежну безпеку, на підприємствах впроваджують комплекс технічних, організаційних та протипожежних заходів. Зокрема, всі приміщення, де відбувається подрібнення, сушіння, екструдкування або змішування кормів, мають обладнуватися системами вентиляції та аспірації для своєчасного видалення пилу. Регулярне очищення робочих поверхонь, транспортних стрічок, гвинтових шнеків і фільтрів від залишків сировини знижує ризик займання.

Велике значення має правильна експлуатація електрообладнання та машин, що працюють під високим навантаженням. Всі електричні кабелі, контактні з'єднання та двигуни повинні проходити регулярну перевірку на відсутність перегріву та пошкоджень із дотриманням вимог із заземлення та ізоляції. Крім того, у виробничих зонах обов'язкове встановлення вогнегасників, пожежних кран-комплектів та автоматичних систем сигналізації і гасіння пожеж.

Організаційні заходи включають навчання персоналу правилам пожежної безпеки, інструктаж з користування засобами гасіння, а також

відпрацювання дій у разі виникнення надзвичайної ситуації. Працівники повинні знати маршрути евакуації, місця розташування первинних засобів пожежогасіння та алгоритм повідомлення служби пожежної охорони.

Особливу увагу слід приділяти процесам, які пов'язані з високими температурами, наприклад, екструдуванию кормів. В цих умовах можливе спікання продукту на поверхні гвинтів або фільтер, що збільшує ризик займання. Тому контроль температури та тиску в робочих зонах екструдера має бути постійним, а обладнання оснащене датчиками аварійного відключення.

Таким чином, забезпечення пожежної безпеки при виробництві кормів для тварин потребує комплексного підходу, що поєднує технічні засоби, контроль за процесами та навчання персоналу. Тільки системне дотримання цих правил дозволяє мінімізувати ризик виникнення пожежі, зберегти здоров'я працівників та уникнути значних матеріальних втрат.

4.3 Охорона праці та безпека при використанні технологічного обладнання

Підвищення рівня технічного забезпечення тваринництва, впровадження сучасних матеріалів, нових конструкцій та технологічних процесів, а також збільшення потужностей і швидкісних режимів одразу вплинули на характер і частоту нещасних випадків та професійних захворювань у сільськогосподарському виробництві.

Виробництво кормів для тварин пов'язане з використанням різноманітного обладнання: дробарок, млинів, екструдерів, сушильних та змішувальних установок. Це створює ряд потенційно небезпечних факторів для персоналу. Забезпечення охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях є невід'ємною складовою ефективного та безпечного технологічного процесу.

У таких умовах особливої важливості набуває забезпечення охорони праці працівників. Робота у тваринництві вимагає підвищеної уваги керівництва господарства до дотримання правил техніки безпеки.

Однією з головних умов безпечної роботи з обладнанням є суворе дотримання трудової та технологічної дисципліни. Категорично забороняється працювати на несправному обладнанні, залишати працюючу машину або апарат без нагляду, передавати обов'язки з контролю за устаткуванням особам, які не мають на це права, а також здійснювати ремонт під час роботи пристрою.

Під час виробництва кормів для тварин особливу увагу слід приділяти охороні праці та безпеці в надзвичайних ситуаціях, оскільки технологічні процеси пов'язані з використанням механічного обладнання, високих температур, тиску та пилу, що підвищує ризик травм та аварій.

Робота на екструдерах, дробарках, млинах і змішувачах потребує дотримання правил безпечного поводження з машинами: перед початком зміни оператори повинні пройти інструктаж, ознайомитися з експлуатаційними вимогами обладнання та перевірити його справність, зокрема стан електропроводки, гвинтових механізмів і систем управління.

При екструдюванні кормів виникає небезпека контакту з високотемпературною та під тиском водяною парою, що може спричинити опіки або пошкодження обладнання. Тому всі технологічні операції проводяться з використанням засобів індивідуального захисту захисних окулярів, рукавичок, спецодягу та взуття, а також із дотриманням правил вентиляції та видалення пилу для запобігання вибухопожежних ситуацій.

У виробництві кормів не менш важливим є дотримання протипожежних заходів: у приміщеннях обладнуються системи виявлення диму, вогнегасники та протипожежні шляхи, а персонал регулярно проходить навчання з евакуації та дій у випадку загоряння або аварійного витоку речовин.

Окрім того, організаційні заходи включають контроль за дотриманням графіків технічного обслуговування обладнання, облік та інструктаж нових працівників, а також впровадження планів дій у разі надзвичайних ситуацій, щоб мінімізувати ризики для життя та здоров'я персоналу.

У комплексі ці заходи забезпечують безпечну експлуатацію технологічного обладнання, знижують ризик виробничого травматизму та дозволяють підтримувати стабільну, ефективну роботу підприємства з виробництва кормів для тварин.

Висновки до розділу IV

В розділі вивчено вимоги з організації безпеки праці на підприємстві, що займається виробництвом екструдованих кормів.

Впровадження сучасних технічних та організаційних заходів пожежної безпеки сприяє збереженню життя та здоров'я працівників, а також мінімізації матеріальних збитків під час виробництва кормів.

Розглянуто заходи з охорони праці та безпека при використанні технологічного обладнання. Систематичний контроль та навчання персоналу з питань охорони праці сприяють формуванню відповідальної культури безпеки та мінімізації аварійних ситуацій у процесі екструдування кормів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В теоретичному розділі вивчено сучасні технології виробництва кормів. Проаналізовано теоретичні засади процесу екструзії. Обґрунтовано властивості сировини для екструдування кормів та характеристики готової продукції.

В технологічному розділі проведено технічне обґрунтування будови та основних характеристик екструдерів. Розглянуто технічне обладнання для попередньої обробки сировини перед екструзією. Проведений аналіз роботи одношнекових екструдерів, а саме роботу екструдера з регульованим теплопідводом, шнекового екструдера для виробництва двошарових продуктів та екструдера з матрицею.

В розрахунково-конструктивному розділі обґрунтовано конструкцію установки для екструзії кормів, що дозволяє забезпечити ефективну переробку сировини та отримання високоякісного кінцевого продукту. Розглянуто принцип дії екструдерної установки, який базується на комплексній взаємодії температури, тиску та механічного впливу робочих органів, що забезпечує рівномірне змішування та термообробку кормової маси. Визначено продуктивність екструдера, що дозволяє оцінити його ефективність при обробці різних видів сировини. Розроблено процес взаємодії робочих компонентів екструдера. Взаємодія робочих органів дозволяє забезпечити рівномірне просування сировини, її термообробку та формування гранул високої якості, зберігаючи фізико-хімічні властивості інгредієнтів.

В розділі охорона праці вивчено вимоги з організації безпеки праці на підприємстві, що займається виробництвом екструдованих кормів. Розглянуто заходи з охорони праці та безпека при використанні технологічного обладнання. Систематичний контроль та навчання персоналу з питань охорони праці сприяють формуванню відповідальної культури безпеки та мінімізації аварійних ситуацій у процесі екструдування кормів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тартачний І. О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів екструдера. Дипломна/кваліфікаційна робота.
2. Коба Т. С. Дослідження технології екструдювання кормів: конструктивні параметри компресійних кілець. 2023.
3. Лінко М. О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів експандера комбікормів. Дисертація, 2024.
4. Костецька К. В., Желізна В. В., Улянич І. Ф., Голубєв М. І. «Оптимізація процесу екструдювання під час виробництва комбікормів». Вісник Уманського НУС, 2021.
5. Воєцька О. Є. «Ефективність використання екструдованих зернових компонентів та ферментних препаратів у годівлі сільськогосподарських тварин». З-пик 2013 №3.
6. Демчук О. В., Цігорлаш Д. В., Левченко М. В. «Удосконалення технології виробництва кормів в експандованому вигляді та ефективність їх використання під час відгодівлі свиней». Таврійський науковий вісник, 2019.
7. Шапошніков М. Л. Обґрунтування процесу (виробництво стартерних кормів для птиць та тварин) пояснювальна записка. 2020.
8. Братішко В. В. Науково-технічні основи приготування комбікормів гвинтовими грануляторами. Монографія. Тернопіль: Крок, 2017.
9. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві: навчальний посібник / За ред. І. І. Ібатулліна, О. М. Жуковського. К.: Аграр. наука, 2017. 328 с.
10. Болтянський Б. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: Підручник для здобувачів вищої освіти закладів вищої освіти / Б. В. Болтянський, О. Г. Скляр, Р. В. Скляр, Н. І. Болтянська, С. В. Дереза. К. : Видавничий дім «Кондор», 2020. – 410 с.
11. Осипенко В. І., Ситник О. О., Некоз О. І., Філімонова Н. В. Обґрунтування шляхів технічного і технологічного вдосконалення

екструдерів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2021, №1. С. 66-73.

12. Скляр Р. В. *Машини, обладнання та їх використання в тваринництві: Підручник для здобувачів ступеня вищої освіти закладів вищої освіти* / Р. В. Скляр, О. Г. Скляр, Н. І. Болтянська, Д. О. Мілько, Б. В. Болтянський. К. : Видавничий дім «Кондор», 2019. 608 с.

13. Костецька К. В., Уляніч І. Ф., Зелезна В. В., Голубєв М. І. «Оптимізація процесу екструдювання під час виробництва комбікормів». *Вісник Уманського НАУ*, 2021.

14. Івлєва В. В. «Обґрунтування експлуатаційно-технологічних параметрів прес-гранулятора (екструдерного/грануляторного) комбікормів». 2022.

15. Соломонюк Д. В. Розробка технологічного процесу приготування кормів на свинофермі з удосконаленням екструдера комбікормів. ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

16. Бойко В. С. Виробництво кормів методом екструдювання. [Електронний ресурс].

17. Хоренжий Н. В. Дослідження процесу екструдювання комбікормів із вмістом вологих кормових трав (частина 2). *Гірничо-металургійний вісник*. 2020.