

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

СТАРУЩИК БОГДАН СЕРГІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

УДК 631.363  
(індекс)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Удосконалення технологічної лінії приготування кормів в умовах

(тема роботи)

фермерського господарства

208 – Агроінженерія

Подається на здобуття освітнього ступеня Магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Б.С. Старущик

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Грудовий Роман Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

кандидат технічних наук

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир - 2020

## АНОТАЦІЯ

Старушич Б. С. Удосконалення технологічної лінії приготування кормів в умовах фермерського господарства. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В роботі обґрунтовано удосконалення технологічної лінії приготування кормів в умовах фермерського господарства шляхом обґрунтування використання енергії потоку повітря для транспортування зерна по лінії. Запропоновано комплект обладнання для технологічної лінії приготування кормів з врахуванням умов фермерського господарства. Удосконалено конструкцію ежектора і пневмосепаратора, що забезпечить якісну подачу зернового матеріалу до молоткової дробарки з меншими енерговитратами. Отримані аналітичні залежності для визначення конструкційних параметрів удосконаленої конструкції ежектора і пневмосепаратора.

**Ключові слова:** технологічна лінія, кормоприготування, енергія, повітря, ежектор, пневмосепаратор.

## ANNOTATION

Starushchik B. Improvement of the technological line of fodder preparation in the conditions of a farm. - Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 - Agricultural Engineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The paper substantiates the improvement of the technological line of feed preparation in the conditions of a farm by substantiation of the use of air flow energy for grain transportation along the line. A set of equipment for the technological line of fodder preparation is offered, taking into account the conditions of the farm. Analytical dependences for determination of design parameters of the improved design of an ejector and a separator are received.

**Key words:** technological line, fodder preparation, energy, air, ejector, separator.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ЗМІСТ.....	3
ВСТУП.....	4
1. РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1 Сучасний стан процесу приготування кормів.....	7
1.2 Аналіз конструкцій обладнання для виробництва комбікормів... 10	
1.3 Завдання наукових досліджень.....	16
2. РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ В ПТЛ ПРИГОТУВАННЯ КОМБІКОРМІВ.....	1 17
2.1 Обґрунтування параметрів завантажувальних пристроїв, комбікормового агрегату.....	17
2.2 Обґрунтування конструкції пневмосепаратора.....	21
2.3 Висновки по розділу 2.....	23
3. РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
3.1 Обґрунтування ПТЛ приготування кормів для умов фермерського господарства.....	24
3.2 Результати математичного дослідження параметрів завантажувальних пристроїв і пневмосепаратора ПТЛ приготування комбікормів.....	28
3.3 Висновки по розділу 3.....	30
ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Відповідно до норм технологічного проектування кормоцехів для тваринницьких ферм і комплексів розроблені кормової, концентратно-коренебульбоплідний і концентратно-картопляний типи годівлі свиней [13-14]. В даний час сільгоспвиробники практично відмовилися від вирощування коренебульбоплодів, тому є сировинна проблема застосування концентратно-коренебульбоплідних і концентратно-картопляних сумішей. Для годування свиней може бути використана некондиційна продукції, що залишається при виробництві товарних коренебульбоплодів промисловими підприємствами. При концентратному типі годівлі свиней в умовах підприємств малих форм господарювання затратно і нерационально використовувати існуюче вузькоспеціалізоване обладнання, призначене для роботи в комбикормових цехах великих підприємств, орієнтоване на великі обсяги виробництва кормових сумішей. Тому раціонально застосовувати комбикормові агрегати, що використовують для завантаження, транспортування, подрібнення і вивантаження потенціал повітряного потоку, які дозволяють мінімізувати набір необхідних машин, використовуючи покупні БВД і власний фураж. Однак такі агрегати мають ряд недоліків: недостатньо ефективне використання потенціалу повітряного потоку, застосування завантажувальних пристроїв з необґрунтованими параметрами, відсутність елементів очищення зернофуражу від небажаних домішок, високі питомі енерговитрати при подрібненні і недостатня рівномірність змішування компонентів, неможливість (при необхідності використання місцевих кормів) змішування вологих кормосумішок.

Все це призводить до подорожчання кормів і погіршення їх якості.

Відмінною особливістю малих форм господарювання від великих сільськогосподарських підприємств чи організацій є наявність диференційованої кормової бази і поголів'я худоби, а це викликає необхідність купувати велику кількість різноманітних технологічних ліній і технічних засобів для приготування кормів. Тим самим, в наявності проблемна ситуація: при наявності

широкого спектра кормоприготувального обладнання в зв'язку з його вузькою спрямованістю, високими питомими енерговитратами і дорожнечою неможливо його ефективно і економічно виправдане використання в умовах малих форм господарювання. З цього випливає науково-технічна проблема яка полягає в розробці та адаптації технологічних і технічних рішень машинних технологій приготування кормів, орієнтованих на кормову базу малих підприємств і дозволяють поліпшити показники витрат енергії і якості кормів при їх приготуванні в умовах малих форм господарювання з можливістю універсалізації по кормах для зниження сукупних і капітальних витрат.

**Мета дослідження.** Метою даного дослідження є підвищення ефективності потоково-технологічної лінії виробництва комбикормів шляхом обґрунтування конструкції ежектора і пневмосепаратора для використання потенціалу повітряного потоку.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні **завдання дослідження:**

1. Удосконалення технологічної лінії приготування кормів в умовах фермерського господарства з обґрунтування необхідного комплексу машин і обладнання;
2. Підвищити ефективність очищення зерна на основі обґрунтування раціональної конструкції пневмосепаратора;
3. Удосконалити конструкцію ежектора для покращення умов захоплення і подачі зернового матеріалу.

**Об'єкт дослідження** - робочий процес очищення і транспортування зерна до молоткової дробарки, конструктивні елементи ежектора і пневмосепаратора.

**Предмет дослідження** - закономірності впливу конструкційних параметрів і режимів роботи ежектора і пневмосепаратора на ефективність процесу технологічної лінії приготування кормів.

**Методологія і методи дослідження.** Теоретичні дослідження виконані з використанням відомих положень законів теоретичної механіки, загальних положень теорії тертя і деформування пружних матеріалів, диференціального та інтегрального числення. Одиниці виміру використані відповідно до міжнародної системи СІ. Отримані результати оброблялися з використанням пакета програм на ЕОМ: Microsoft Office, Компас-3D LT V16, і ін.

**Практична значимість роботи:**

1. Удосконалена технологічна лінія приготування кормів в умовах фермерського господарства з обґрунтуванням необхідного комплексу машин і обладнання.

2. Обґрунтовані конструкції ежектора і пневмосепаратора.

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано тези у Збірнику доповідей учасників II Міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві» та збірнику матеріалів науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2020».

**Структура і обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 33 сторінках машинописного тексту і містить 15 рисунків, список використаної літератури з 25 найменувань.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Сучасний стан процесу приготування кормів

У зв'язку з тим, що малі сільськогосподарські підприємства обмежені в фінансовому плані, то і набір кормоприготувального обладнання, що купується ними, також обмежений через додаткові витрати на його покупку, обслуговування під час експлуатації та ремонт. Тому комплект машин для приготування кормів в умовах малих форм господарювання повинен бути мінімальним і одночасно дозволяти вирішувати питання кормоприготування.

Науковими дослідженнями доведено ефективність згодовування великій рогатій худобі повнораціонних кормових сумішей, що складаються з декількох компонентів: грубих, соковитих, концентрованих кормів, коренебульбоплодів, преміксів і т.д. [11,12].

Однак промисловість сьогодні орієнтована на виробництво вузькоспеціалізованого обладнання для переробки сільгосппродукції, а обладнання, що ними випускається високопродуктивне і орієнтоване на великотоварне виробництво. З точки зору економіки для отримання більшої річної економії і скорочення термінів окупності коштів обладнання, що купується повинно більш повно використовуватися при експлуатації. Тому при розробці та дослідженні кормоприготувального обладнання необхідно враховувати цю обставину, тобто воно повинно мати малі габарити, металоємкість, низькі питомі енерговитрати, невисоку продуктивність, а з урахуванням диференційованої кормової бази господарств має бути в деякій мірі універсальним.

У питаннях, пов'язаних з кормоприготуванням, часто застосовують системний підхід, що дозволяє оцінити ефективність системи, що складається з механічних (потоківі лінії, машини, агрегати, вузли і т.д.) і біологічних (тварини і оператори машин) елементів в цілому [11-14]. При цьому з метою полегшення

аналізу функціонування всієї системи весь процес або комплекс машин розглядають як багаторівневу систему [14].

На основі пошукових досліджень можна зробити висновок, що процес кормовиробництва поділяється на три підсистеми: сукупність технологічних операцій; лінії підготовки окремих елементів корму (на цьому рівні відбувається визначення режимів роботи всієї лінії, а також її оптимальних параметрів); елементи (мається на увазі як окремо розглянута машина або її елемент, так і окремо взята операція) технологічної лінії (тут відбувається пошук оптимальних параметрів і режимів роботи окремо взятого елемента системи).

При вирішенні завдань кормовиробництва з точки зору системного підходу необхідно вирішити кілька проблем. По-перше, розробка теоретичних основ, що дозволяють мінімізувати всі види витрат на отримання готового корму.

Другою важливою проблемою є енергонасиченість корму. Тут визначальним фактором служить спосіб обробки компонентів корму: необхідно розробляти нові й удосконалювати існуючі технології і машини, що дозволяють отримати якісний корм з мінімальними витратами. Для оцінки енергоефективності машин і процесів введений коефіцієнт енерговитрат і показник рівня інтенсифікації [2]. Аналіз наукових праць показав, що найбільш витратними з усіх операцій кормовиробництва є процеси підготовки елементів корму, які здійснюються спеціальними машинами [2,13].

Таким чином, рішення проблем кормовиробництва в умовах малих форм господарювання можна звести до оптимізації, як всього процесу кормовиробництва, так і окремих елементів комплексу машин, що здійснюють цей процес, при визначенні їх оптимальних режимів і параметрів за допомогою сучасних методів математичного аналізу, моделювання, планування експериментів, виходячи з умов кормової бази господарств.

З точки зору системного підходу процес виробництва якісних кормів можна розглядати як біотехнічну систему, яка є змішаною, що об'єднує штучну і природну [13,14].



На сьогоднішній день сільськогосподарськими підприємствами реалізується дві технології приготування повнораціонних кормів: в стаціонарних кормоцехах і мобільними подрібнювачами-змішувачами які також можуть забезпечувати функцію роздавання [13-15].

Друга схема є більш раціональною, оскільки складається з меншої кількості технологічних операцій і машин, що їх виконують, а отже, є менш енерго- і металоемкими. Таким чином, питання приготування і роздавання повнораціонних кормів на фермах ВРХ вирішене за рахунок використання мобільних подрібнювачів-змішувачів, які дозволяють подрібнити волокнисті корми і змішати їх з іншими компонентами суміші. Дані агрегати також можна використовувати в умовах малих форм господарювання. Однак залишається проблема попередньої підготовки концентрованих кормів, які є важливою складовою повнораціонних кормів в системі годівлі: обладнання для виробництва комбикормів вузькоспеціалізованих і, в основному, орієнтоване на великі об'єми. Раціонально в даних умовах застосовувати агрегати, що використовують для завантаження, транспортування, подрібнення і вивантаження потенціал повітряного потоку, які дозволяють мінімізувати набір необхідних машин. У цьому випадку можливе об'єднання операцій підготовки концентрованих кормів і преміксів. Крім того очистку зернофуражу можливо здійснювати без застосування додаткових машин за рахунок використання потенціалу повітряного потоку [3,10]. Однак недоліками таких агрегатів є недостатньо ефективне використання потенціалу повітряного потоку, застосування завантажувальних пристроїв з необґрунтованими параметрами, відсутність елементів очищення зернофуражу від небажаних домішок, високі питомі енерговитрати при подрібненні і недостатня рівномірність змішування компонентів. У зв'язку з вище перерахованих виникає необхідність вдосконалення технологічної лінії підготовки концентрованих кормів на основі проведеного аналізу сучасних комплексів машин для приготування концентрованих кормів.

## 1.2 Аналіз конструкцій обладнання для виробництва комбікормів

Для переробки зернофуражу на сьогоднішній день сільгоспвиробники широко застосовують комбікормові заводи різної продуктивності. Складаються вони з транспортерів, що забезпечують подачу зернового матеріалу, дробарок зерна і змішувачів. Можливі два варіанти виконання таких заводів. У першому випадку технологічна лінія містить дробарку зерна (як правило, молоткову) з примусовою подачею зерна. В цьому випадку весь матеріал переміщається транспортерами (шнековими, стрічковими, норіями і ін.). У другому випадку в технологічній лінії присутній вентилятор, як правило, встановлений в дуєті з дробаркою зерна. У цьому випадку замість транспортерів використовуються матеріалопроводи. Переваги другої лінії перед першою очевидні - це можливість подачі зернофуражу в дробарку з досить великої відстані (до 20 м), відсутність додаткового приводу транспортерів, менша металоємність, дешевизна - тому вона користується у сільгоспвиробників великим попитом. Тому саме такі конструкційні рішення і розглянемо в нашій кваліфікаційній роботі.

На рисунку 1.1 подана конструкція зернодробарки подача зернового матеріалу до якої подається за допомогою повітряного потоку через матеріалопроводи[21,23].

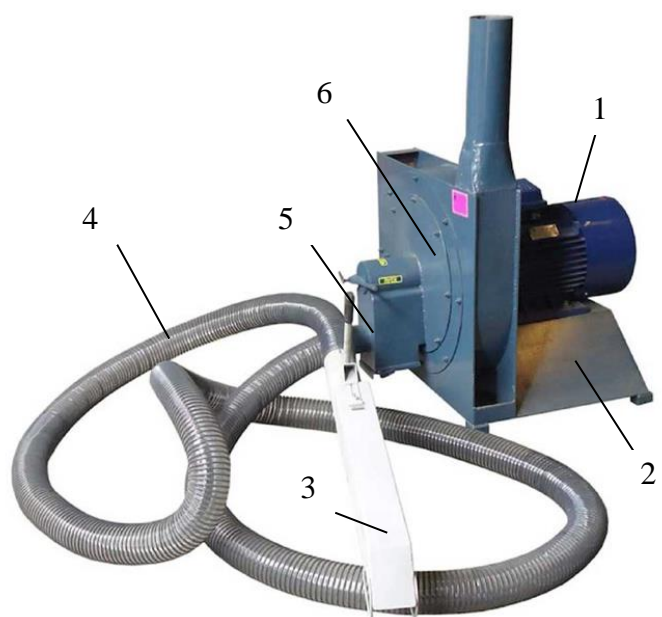


Рис. 1.1 – Зернодробарка з пневматичною подачею серії ПД[21,23]:

(ЧП «ПромСельПроект», Миколаїв Миколаївська обл., Україна)

1 - двигун; 2 - корпус; 3 – приймальна насадка; 4 – гофрований рукав; 5 – каменеуловлювач; 6 - молоткова зернодробарка.

На дробарці перед рукавом встановлений каменеуловлювач, що забезпечує відділення великих домішок за масою.

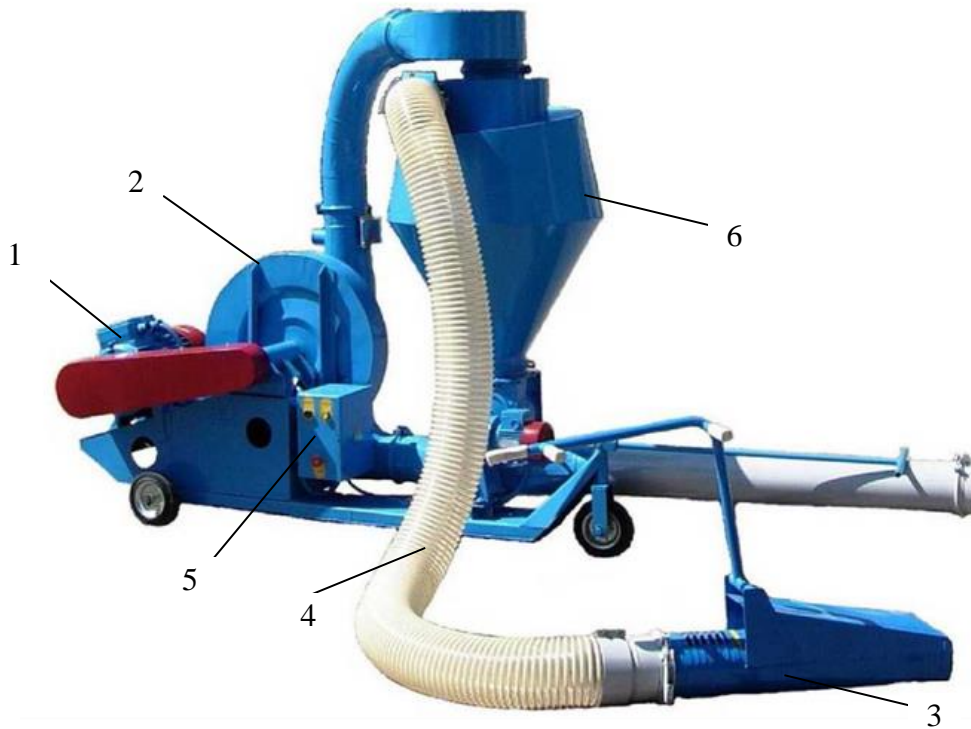
Слідуюча конструкція яка заслуговує уваги це удосконалена версія попередньої. Удосконалення полягає в тому, що в конструкції передбачено окремий завантажувальний бункер для варіанту завантаження зернофуражу із тари і збільшені габарити для підвищення продуктивності в цілому.



**Рис. 1.2 – Зернодробарка з пневматичною подачею серії УПД[21,23]**

Для ефективності технологічного процесу роботи необхідною умовою є чистота завантажувального матеріалу, що не завжди можна забезпечити в невеликих господарствах у яких зерновий матеріал зберігається на бетонних майданчиках. І під час роботи із зерном повітряним потоком захоплюються дрібні і великі мінеральні домішки, які негативно впливають на робочий процес окремих робочих органів машин і обладнання так і всього комбикормового заводу, знижуючи його ресурс і виводячи з ладу окремі елементи (наприклад, решето дробарки), а також погіршують якість готового корму [10,16].

Для вирішення такої проблеми інший Український виробник «Алексзернотех», НП, Олександрія, Кіровоградська обл., Україна пропонує в технологічних лініях по виробництву комбікормів використовувати універсальний пневматичний транспортер обладнаний системою очистки у вигляді вертикального циклону[22,23].



**Рис. 1.3 – Пневматичний транспортер ПТЗ-8 з універсальним циклоном:** [22,23] 1 - двигун; 2 - вентилятор; 3 – приймальна насадка; 4 – гофрований рукав; 5 – пульт керування; 6 – вертикальний циклон.

Основним недоліком, для невеликих фермерських господарств, є масивність конструкції і велика продуктивність даного пневмотранспортера, так як дана машина використовується на комбікормових заводах або зерноприймальних пунктах, що можуть її завантажити відповідними обсягами роботи.

Закордонні конструкції сучасних систем приготування концентрованих кормів розглянемо на прикладі таких відомих брендів DOZAmesh» (Польща) та «Nord Mills» (Фінляндія)



**Рис. 1.4 – Дробарка зерна Н-122/2 (DOZAmesh, Польща) [24]**

Як видно конструкція принципової відмінності з українськими аналогами не має. Особливістю є регульована подача удосконаленою конструкцією приймального наконечника.



**Рис. 1.5 – Пневматичний транспортер (DOZAmesh, Польща) [24]**

Як видно із рис.1.5 даний завод-виробник також пропонує універсальні пневматичні навантажувачі із функцією очищення зернового матеріалу в циклоні.

Для менших обсягів виробництва комбікормів, що можуть використовувати невеликі фермерські господарства, «Nord Mills» пропонує сучасний міні завод, що забезпечує себе подачею зернового матеріалу з буртів зерна, його очищенням в циклоні і подрібненням в дробарці рисунок 1.6. Ще слід відмітити використання приймальну насадку у вигляді ежектора.



**Рис. 1.6 – Зерноподрібнюючий комплекс («Nord Mills» Фінляндія) [25]**

Дана конструкція є універсальною, але має на нашу думку, також недоліки у вигляді відсутності в конструкції каменевловлювача, що потребує високої якості попереднього очищення зернового матеріалу, що в свою чергу вимагає додаткового очисного обладнання. Іншим вагомим недоліком є ціна на такого типу обладнання в країнах Європи, що для наших дрібних товаровиробників є вагомою перешкодою.

Іншим конструктивним рішенням даного виробника є більш універсальний комплекс, що забезпечує одночасну подачу двох різних культур які знаходяться



в різних буртах. Для цього в конструкції передбачено два приймальних наконечника з рукавами. рисунок 1.7.



**Рис. 1.7 – Зерноподрібнюючий комплекс («Nord Mills» Фінляндія) [25]**

Аналізуючи вищеподані конструкційні рішення можна зробити такі висновки, що кожна конструкція має як переваги так і недоліки. Що говорить про те що більшість даних рішень має певне призначення і використовується як складова потоково-технологічній лінії даного заводу виробника чи певної марки. А використання однієї машини не дасть бажаного ефекту.

Тому сформулюємо напрямки удосконалення нашої технологічної лінії приготування комбікормів враховуючи особливості конструкцій, що подані вище:

- Для покращення захоплення зерна із бурта обґрунтувати використання ежекторів;
- Для очищення зернового матеріалу передбачити в ПТЛ пневмосепаратора.

### 1.3 Завдання наукових досліджень

З проведеного аналізу випливає, що поставлені задачі можна вирішити за рахунок розробки або удосконалення існуючих конструкцій ежекторів і пневмосепаратора з обґрунтуванням технічних, технологічних параметрів.

Технічні рішення в першу чергу повинні бути направлені на зниження опору руху повітряного потоку і тим самим збільшення продуктивності, як дробарки, так і всього комбікормового агрегату.

Метою даного дослідження є підвищення ефективності потоково-технологічної лінії виробництва комбікормів шляхом обґрунтування конструкції ежектора і пневмосепаратора для використання потенціалу повітряного потоку.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні завдання дослідження:

1. Удосконалення технологічної лінії приготування кормів в умовах фермерського господарства з обґрунтування необхідного комплексу машин і обладнання;
2. Підвищити ефективність очищення зерна на основі обґрунтування раціональної конструкції пневмосепаратора;
3. Удосконалити конструкцію ежектора для покращення умов захоплення і подачі зернового матеріалу.



## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ В ПТЛ ПРИГОТУВАННЯ КОМБІКОРМІВ

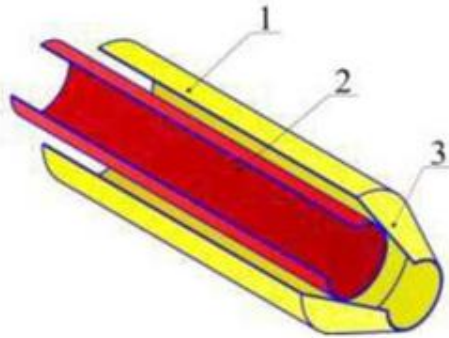
#### **2.1 Обґрунтування параметрів завантажувальних пристроїв, комбікормового агрегату**

На основі запропонованої концепції і в результаті системного аналізу існуючих технологій, технологічних ліній і технічних засобів приготування кормів виявлені основні проблеми та запропоновано комплект обладнання для приготування кормів в умовах невеликих фермерських господарствах. Для яких характерні технологічні лінії для приготування сухих сумішей концентрованих кормів, вологих сумішей концентрованих кормів та ферментованих кормів, що описано в п.3.1.

При аналізі роботи технологічної лінії переробки концентрованих кормів з пневматичною подачею зерна виявлена проблема - високий опір руху повітря по елементам лінії. Знизити їх можна за рахунок створення оптимальних умов перебігу повітря в кожному елементі комбікормового агрегату. Одним з елементів технологічної лінії є ежектор, який призначений для подачі зерна з буртів в камеру подрібнення дробарки[3,10].

Найпростішою конструкцією типового ежектора є завантажувальний пристрій, що складається з зовнішньої труби 1 і внутрішнього патрубку 2 (рисунок 2.1), який переміщується всередині труби уздовж її осі.

Основним елементом ежектора є його всмоктувальна частина (сопло) 3. Від її конструкції залежать місцеві опори руху повітряного потоку, які призводять до збільшення загального опору пневмосистеми і зниження пропускної здатності дробарки. Тому при виборі ежектора необхідно вивчення його конструкції з точки зору зниження опору руху повітряного потоку.



**Рисунок 2.1 – Ежектор:** 1 – зовнішня труба; 2 – внутрішній патрубок; 3 – сопло.

Сумарні гідравлічні втрати ежектора при подачі зерна з бурту в пневмопровід складаються з двох складових: втрати, пов'язані з конструкцією ежектора, і втрати тиску повітряного потоку при його проході крізь зерновий шар. У загальному випадку це можна описати рівнянням [1,3,10]:

$$\Delta p_c = \Delta p_1 + \Delta p_2 = (\xi_1 + \xi_2) \frac{\rho w_{cp}^2}{2} = \xi_c \frac{\rho w_{cp}^2}{2}, \quad (2.1)$$

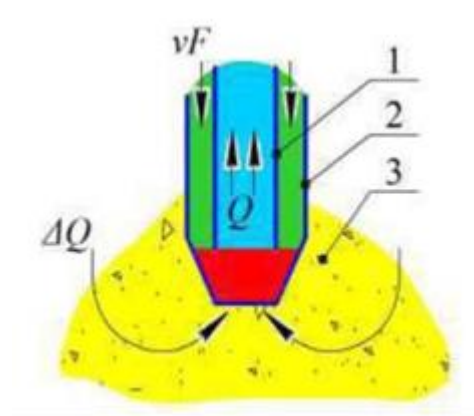
$$\Delta p_c = \xi_c \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{Q}{F} \right)^2, \quad (2.2)$$

Об'ємна витрата повітря  $Q$  визначається з характеристики вентилятора, а площа  $F$  - з конструкції ежектора. Особливістю зернових ежекторів є те, що основний повітряний потік (синя зона на рис. 2.2), що проходить у внутрішньому патрубку 1, складається з двох. Частина  $v \cdot F$  повітряного потоку рухається в кільцевому просторі (зелена зона на рис. 2.2) подавального пристрою, а частина  $\Delta Q$  - через шар зерна. У червоній зоні ежектора (рис 2.2) відбувається об'єднання двох складових і взаємодія робочого газу з транспортованим матеріалом. Математично цей процес можна описати виразом [10]:

$$Q = v \cdot F + \Delta Q, \quad (2.3)$$

де  $v \cdot F$  – кількість повітряного потоку, що проходить через кільцевий зазор ежектора;

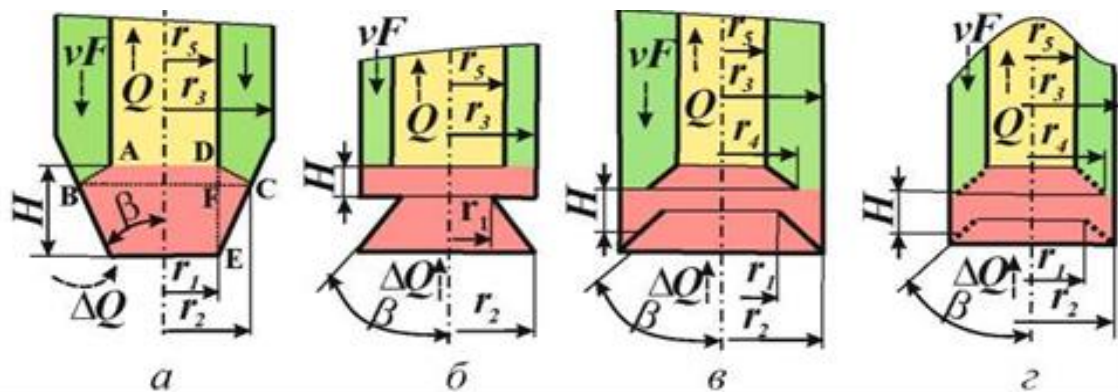
$\Delta Q$  – кількість повітряного потоку, що проходить через зерновий шар.



**Рисунок 2.2 – Схема руху робочого газу в ежекторі під час роботи:**

1 – внутрішній патрубок; 2 – зовнішня труба; 3 – зерновий матеріал

Для того щоб розрахувати кількість повітряного потоку, що проходить через кільцевої зазор ежектора, розглянемо деякі найбільш поширені конструкції ежекторів, що застосовуються в сільському господарстві (рисунок 2.3).



**Рисунок 2.3 – Схеми для визначення площі вхідного кільцевого зазору в ежекторах різних конструкцій**

Пропускна здатність ежектора прямо пропорційна витраті робочого газу у внутрішньому патрубку ежектора і коефіцієнту концентрації до зернового матеріалу в потоці [3,10, 19]:

$$Q_E = Q \cdot \rho \cdot \kappa, \quad (2.4)$$

де  $\rho$  – густина повітря;

$Q$  – витрата повітря, що проходить через розглянутий канал площею  $F$ ;

$\kappa$  – коефіцієнт концентрації зернового матеріалу в повітряному потоці.

Вираз для визначення пропускної здатності ежектора, показаного на рисунку 1 а, має вигляд:

$$Q_e = \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \kappa \cdot \pi} \cdot \left( \sqrt{\frac{\Delta p_1}{\xi_1}} \cdot (2r_5 + H \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta) \cdot \kappa \cdot H \cdot \sin \beta + \sqrt{\frac{\Delta p_2}{\xi_2}} \cdot r_1^2 \right), \quad (2.5)$$

де  $\Delta p_1$  - загальні втрати тиску повітря, пов'язані з конструкцією ежектора, Па;

$\Delta p_2$  - загальні втрати тиску повітря, пов'язані з опором зернового шару, Па;

$\xi$  - коефіцієнт опору, пов'язаний з конструкцією ежектора;

$\xi_2$  - коефіцієнт опору зернового шару;

$\rho$  - щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$r_i$  - радіуси внутрішнього патрубку і зовнішньої труби ежектора, м;

$H$  - зазор, м;

$\beta$  - кут дифузора, град.

Пропускна здатність завантажувального пристрою, зображеного на рисунку 1 б, визначається за формулою:

якщо  $H \geq r_3 - r_5$ , то

$$Q_e = \left( \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_1}{\xi_1}} \cdot (r_3^2 - r_5^2) + \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_2}{\xi_2}} \cdot r_1^2 \right) \cdot \pi \cdot \kappa, \quad (2.6)$$

якщо  $H < r_3 - r_5$ , то

$$Q_e = \left( 2 \cdot r_5 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_1}{\xi_1}} + \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_2}{\xi_2}} \cdot r_1^2 \right) \cdot \pi \cdot \kappa, \quad (2.7)$$

Для завантажувальних пристроїв, зображених на рисунку 1 в, г, за умови, що перпендикуляр, що з'єднує дифузори, менше значення  $r_3 - r_4$ , пропускна здатність визначається за виразом (1). В іншому випадку - за формулою:

$$Q_e = \left( (r_3^2 - r_4^2) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_1}{\xi_1}} + \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_2}{\xi_2}} \cdot r_1^2 \right) \cdot \pi \cdot \kappa, \quad (2.8)$$

Аналізуючи отримані залежності, можна помітити, що продуктивність ежектора прямо пропорційна складовим площами ежекторів і визначається як їх абсолютне значення, так і співвідношеннями між ними.

Запропоновані математичні залежності використовуються для визначення теоретичної пропускної здатності дробарки зерна з пневматичною подачею зернового матеріалу з бурта при відомих значеннях коефіцієнта концентрації зерна в повітряно-продуктовому потоці.

## 2.2 Обґрунтування конструкції пневмосепаратора

При завантаженні зерна з бурта і транспортуванні до молоткової дробарки повітрям захоплюються одночасно із зерном і сміттєві мінеральні домішки, що негативно позначається на якості готового корму і ресурсі робочих органів, виникає необхідність в його очищенні. З метою зниження енерговитрат і металоємності, спрощення конструкцій очисних машин для очищення зернофуражу необхідно використовувати потенціал повітряного потоку. Тому в єдиній технологічній лінії приготування кормів в умовах фермерського господарства передбачили пневмосепаратор, в якому відділення великих домішок здійснюється у вертикальному сепарувальному каналі (ВСК) за рахунок різних аеродинамічних властивостей, дрібних - на сепаруючій решітці під дією сил інерції за рахунок різних геометричних розмірів зерна і домішок.

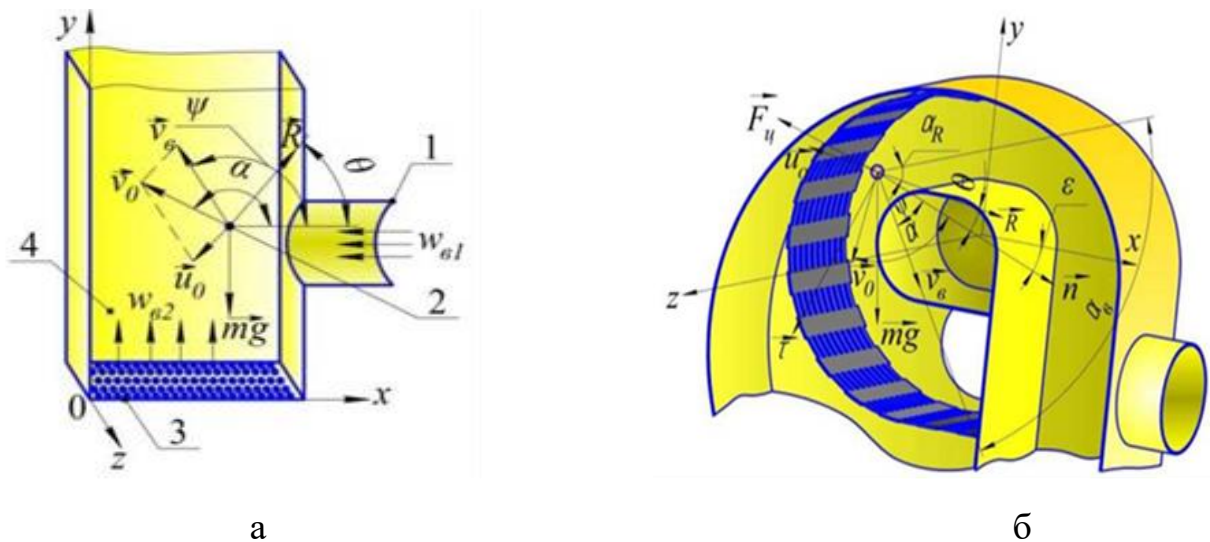
Для обґрунтування конструкційних і технологічних параметрів виконаємо математичне моделювання процесу його роботи. Рух одиничної частинки повітряно-продуктового потоку у ВСК (рис. 2.4 а) описується рівняннями:

$$\begin{cases} X(\Delta t) = x_0 + (-k_n u_{01} x_0 + k_n u_{01} v_e \cos \psi) \Delta t; \\ Y(\Delta t) = y_0 + (-k_n u_{01} y_0 + k_n u_{01} v_e \sin \psi - g) \Delta t; \\ Z(\Delta t) = z_0 + (-k_n u_{01} z_0 - k_n u_0 v_e \cos a_e) \Delta t; \end{cases} \quad (2.9)$$

$$\begin{cases} x(\Delta t) = x_0 \Delta t + (-k_n u_{01} x_0 + k_n u_{01} v_\varepsilon \cos \psi) \frac{\Delta t^2}{2}; \\ y(\Delta t) = y_0 \Delta t + (-k_n u_{01} y_0 + k_n u_{01} v_\varepsilon \sin \psi - g) \frac{\Delta t^2}{2}; \\ z(\Delta t) = z_0 \Delta t + (-k_n u_{01} z_0 - k_n u_0 v_\varepsilon \cos a_\varepsilon) \frac{\Delta t^2}{2}. \end{cases} \quad (2.10)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт парусності,  $m^{-1}$ ;  $u_0$  – відносна швидкість частинки,  $m/s$ ;

$n, \tau, z$  – осі координат;  $v_\varepsilon$  – швидкість повітря,  $m/s$ ;  $x_0, y_0, z_0$  – початкова абсолютна швидкість частинки,  $m/s$ ;  $\Delta t$  – час руху частинки,  $s$ .



**Рисунок 2.4 – Схема дії сил на частинку в сепарувальному каналі:**

а) в вертикальному; б) в криволінійному

Вирази для визначення швидкості і положення частинки в криволінійному сепарувальному каналі (КСК) (рис. 2.4 б) мають вигляд:

$$\begin{cases} N(\Delta t) = n_0 + \left( -\frac{u_{01}^2}{r} - k_n u_{01} n_0 + k_n u_{01} v_\varepsilon \cos \psi + g \sin \varepsilon \right) \Delta t; \\ T(\Delta t) = \tau_0 + (-k_n u_{01} \tau_0 + k_n u_{01} v_\varepsilon \sin \psi - g \cos \varepsilon) \Delta t; \\ Z(\Delta t) = z_0 - (k_n u_{01} z_0 + k_n u_0 v_\varepsilon \sin a_\varepsilon) \Delta t. \end{cases} \quad (2.11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} n(\Delta t) = n_0 \Delta t + \left( -\frac{u_{01}^2}{r} - k_n u_{01} x_0 + k_n u_{01} v_e \cos \psi + g \sin \varepsilon \right) \frac{\Delta t^2}{2}; \\ \tau(\Delta t) = \tau_0 \Delta t + \left( -k_n u_{01} \tau_0 + k_n u_{01} v_e \sin \psi - g \cos \varepsilon \right) \frac{\Delta t^2}{2}; \\ Z(\Delta t) = z_0 - \left( k_n u_{01} z_0 + k_n u_{01} v_e \sin a_e \right) \frac{\Delta t^2}{2}. \end{array} \right. \quad (2.12)$$

З проведеного дослідження можна зробити висновок, що встановлення в поточній лінії обґрунтованої конструкції пневмосепаратора забезпечить подачу чистого зерна до молоткової дробарки, а це в свою чергу підвищить якість виготовленого комбікорму і підвищить ресурс роботи робочих органів дробарки.

### 2.3 Висновки по розділу 2.

На основі отриманих виразів ми обґрунтували теоретичну пропускну здатність ежекторів завантажувальних пристроїв, які є елементами комбікормового агрегату, що служать для подачі зернофуражу в дробарку.

З метою зниження енерговитрат і металоємності, спрощення конструкцій очисних машин - очищення зернофуражу необхідно здійснювати, використовуючи потенціал повітряного потоку. Для цього ми пропонуємо відділяти великі домішки у вертикальному сепарувальному каналі за рахунок різних аеродинамічних властивостей, дрібних - на сепаруючій решітці під дією сил інерції за рахунок відмінності геометричних розмірів зерна і домішок.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **3.1 Обґрунтування ПТЛ приготування кормів для умов фермерського господарства**

Науковими дослідженнями доведено ефективність згодовування великій рогатій худобі повнораціонних кормових сумішей, питання приготування і роздачі яких на фермах ВРХ вирішене за рахунок застосування мобільних подрібнювачів-змішувачів-роздавачів, які також можна використовувати в умовах малих форм господарювання [9,11,12,14,15]. Однак, дане питання, не до кінця вирішене для галузі свинарства, а саме залишається проблемною ділянкою виробництво і підготовка до згодовування комбикормів з власної кормової бази, включення в їх склад білково вітамінних мінеральних добавок (БВД), преміксів і включення в раціон тварин коренебульбоплодів.

Для забезпечення повноцінного раціону тварин в умовах малих форм господарювання бажано приготування кормів з високим вмістом білка за допомогою ферментації сировини місцевого виробництва або побічних продуктів харчової промисловості [14,15]. Однак не завжди це можливо через географічне розташування господарства і переробних підприємств.

Відмінною особливістю малих форм господарювання від великих с.-г. організацій є наявність диференційованих кормових баз і поголів'я тварин, а це викликає необхідність купувати велику кількість різноманітних технологічних ліній і технічних засобів для приготування кормів. Тим самим, в наявності проблемна ситуація: при наявності широкого спектра кормоприготувального обладнання в зв'язку з його вузькою спрямованістю, високими питомими енерговитратами і дорожнечою неможливо його ефективно і економічно виправдане використання в умовах малих форм господарювання. З цього випливає науково-технічна проблема - розробка та адаптація технологічних і технічних рішень машинних технологій приготування кормів, орієнтованих на



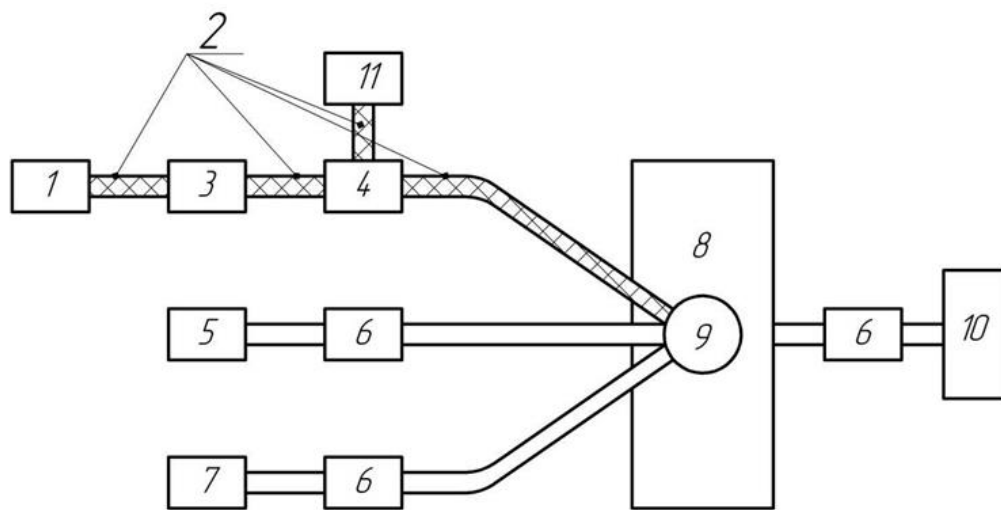
кормову базу малих с.-г. підприємств, що дозволяють поліпшити показники витрат енергії і якості кормів при їх приготуванні в умовах малих форм господарювання з можливістю універсалізації по кормах для зниження сукупних і капітальних витрат.

Аналіз роботи технологічної лінії підготовки концентрованих кормів показав, що в існуючих кормоприготувальних міні заводах і агрегатах з пневматичною подачею матеріалу не в повній мірі використовується потенціал повітряного потоку, застосовуються завантажувальні пристрої з необґрунтованими параметрами, відсутні елементи очищення зернового вороху від небажаних домішок, а дробарки зерна мають високі питомі енерговитрати. Всі перераховані фактори негативно позначаються на продуктивності кормоприготувального агрегату в цілому, ресурсі його робочих органів і якості готового продукту.

Оцінка енергоефективності процесу підготовки до згодовування тваринам концентрованих кормів показала, що з метою зниження енерговитрат зі збереженням якості готового продукту сучасними кормоприготувальними агрегатами необхідно об'єднати операції очищення зернового вороху з можливістю використання потенціалу повітряного потоку, створюваного вентилятором і безпосереднього подрібнення матеріалу. При цьому зниження опору руху повітряного потоку (а отже, збільшення продуктивності всього кормоприготувального агрегату) необхідно добиватися за рахунок створення оптимальних умов перебігу повітря в кожному елементі комбікормового агрегату. Підвищити енергоефективність кормоприготувального агрегату в цілому можна також за рахунок створення дробарок зерна, що мають здатність своєчасного виведення готового продукту з камери подрібнення шляхом формування оптимальних умов руху повітряного потоку. В фермерських і особистих підсобних господарствах з метою підвищення енергоефективності процесу подрібнення зерна необхідно застосовувати малопродуктивні, малогабаритні машини зі збільшеним ресурсом робочих органів і примусовою подачею матеріалу. При цьому енергоефективність може бути досягнута за

рахунок використання дробарок з комбінованими робочими органами і збільшення сепаруючої поверхні.

На основі запропонованої концепції і в результаті системного аналізу існуючих технологій, технологічних ліній і технічних засобів приготування сухих сипучих, вологих розсипних і ферментованих кормів [2,11-15] запропоновано комплект обладнання для приготування кормів в умовах фермерських і малих форм господарювання (рис. 3.1 ).

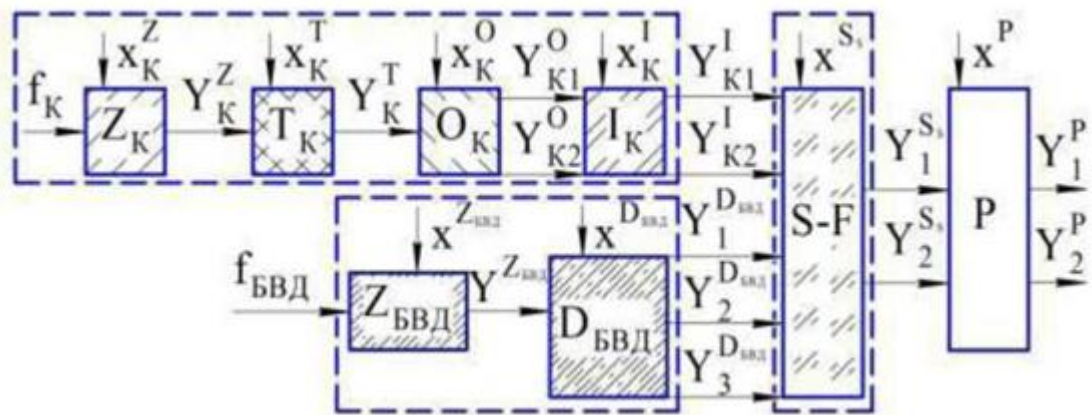


**Рисунок 3.1 - Комплект обладнання для приготування кормів в умовах малих форм господарювання:** 1 - пристрій завантаження зернофуражу (ежектор); 2 - гнучкий шланг; 3 - пневмосепаратор; 4 - дробарка зерна; 5 - дробарка зерна; 6 - шнек; 7 - подрібнювач коренебульбоплодів; 8 - змішувач-ферментатор, 9 - дозатор; 10 – роздавач кормів; 11 - вентилятор.

Із запропонованого комплексу обладнання можна синтезувати різні технологічні лінії для приготування сухих сумішей концентрованих кормів, вологих сумішей концентрованих кормів (з додаванням коренебульбоплодів), ферментованих кормів враховуючи умови конкретного фермерського чи підсобного господарства.

Структурну схему функціонування лінії приготування сухих сумішей концентрованих кормів представлено на рисунку 3.2 (з метою полегшення читання схем на ній наведені тільки кількісні та якісні характеристики  $Y_i^j$ ).

Лінія приготування сухих сумішей концентрованих кормів включає завантажувальний пристрій  $Z_K$ , матеріалопроводи  $T_K$ , пневмосепаратор  $O_K$  для очищення зернофуражу від небажаних металомагнітних і мінеральних домішок, дробарку зерна  $I_K$ , змішувач-ферментатор SF з налаштованими параметрами для змішування сухих сипучих компонентів, завантажувальний пристрій БВД і преміксів  $Z_{БВД}$ , роздавальник кормів Р. В залежності від фізико-механічних, аеродинамічних властивостей компонентів, їх засміченості  $f_i$  вводяться параметри налаштування  $x_i^j$  окремих машин, що входять до складу технологічної лінії. Робота машин оцінюється кількісними, якісними і енергетичними критеріями  $Y_i^j$ .



**Рисунок 3.2 – Структурна схема функціонування лінії приготування сухих сумішей концентрованих кормів:**  $f_k$  - узагальнені статистичні показники, що характеризують фізико-механічні, аеродинамічні властивості концентрованих кормів, їх засміченість;  $Z_K$  - завантажувальний пристрій концентрованих кормів (ежектор);  $T_K$  - матеріалопроводи (гнучкий шланг);  $O_K$  - пристрій для очищення концентрованих кормів (пневмосепаратор);  $I_K$  - подрібнювач концентрованих кормів (дробарка);  $Z_{БВД}$  - пристрій для завантаження БВД, преміксів; SF - змішувач-ферментатор кормів;  $T_P$  - роздавальник кормів;  $X_K^Z, X_K^T, X_K^O, X_K^I, X^{ZБВД}, X^{ДБВД}, X^{SS}, X^P$  - значення внутрішніх факторів відповідно ежектора, матеріалопроводи, пневмосепаратора, дробарки, пристрою для завантаження БВД, дозатора БВД, змішувача-ферментатора для змішування сухих сипучих матеріалів, роздавальника;  $Y_K^Z$  - подача концентрованих кормів;  $Y_{K1}^T$  - пропускна здатність матеріалопроводу;  $Y_K^O$  - ступінь засміченості концентрованих кормів;  $Y_{K2}^O$  - пропускна здатність пневмосепаратора;  $Y_{K1}^I$  - гранулометричний склад дерті;  $Y_{K2}^I$  - пропускна здатність дробарки;  $Y^{ZБВД}$  - пропускна здатність пристрою для завантаження БВД;

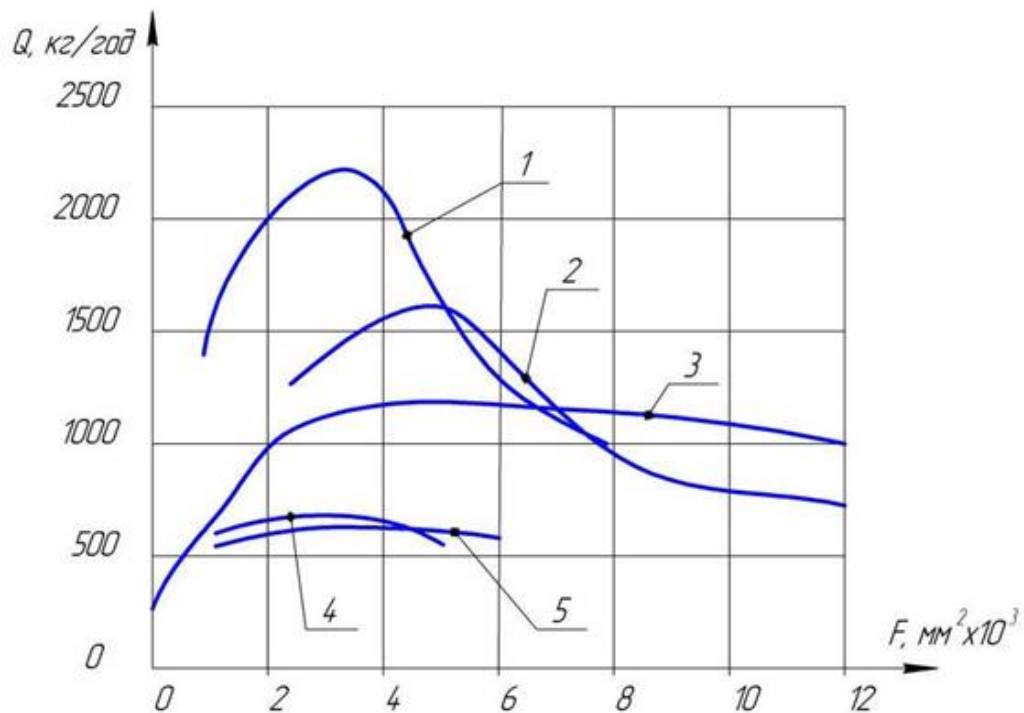
$Y_1^{DBVD}$  - продуктивність дозатора БВД;  $Y_2^{DBVD}$  - точність дозування дозатором БВД;  $Y_3^{DBVD}$  - нерівномірність дозування дозатора БВД;  $Y_1^{SS}$  - рівномірність (однорідність) сухої суміші концентрованих кормів;  $Y_2^{SS}$  - час змішування компонентів сухої суміші концентрованих кормів;  $Y_1^P$  - продуктивність роздавальника;  $Y_2^P$  - рівномірність роздачі корму.

Завантаження, транспортування, очищення і вивантаження матеріалу здійснюється за рахунок потенціалу повітряного потоку, що генерується вентилятором. Подрібнювач-змішувач-роздавач кормів Р використовується в разі приготування повнораціонних кормів для ВРХ. При цьому перевантаження із змішувача-ферментатора в роздавальник може бути здійснена за допомогою шнекового або скребкового транспортера. Накопичення компонентів сумішей може відбуватися в змішувачі-ферментаторі за умови установки на ньому ваг. При приготуванні корму для свиней можна використовувати можливості мобільного змішувача-ферментатора кормів.

### **3.2 Результати математичного дослідження параметрів завантажувальних пристроїв і пневмосепаратора ПТЛ приготування комбікормів**

На основі проведеного математичного дослідження параметрів завантажувальних пристроїв отримали математичні залежності за допомогою яких можна визначати теоретичну пропускну здатність дробарки зерна з пневматичною подачею зернового матеріалу з бурта при відомих значеннях коефіцієнта концентрації зерна в повітряно-продуктовому потоці. Аналізуючи отримані залежності, можна помітити, що продуктивність ежектора прямо пропорційна складовим площами ежекторів і визначається як їх абсолютне значення, так і співвідношеннями між ними.

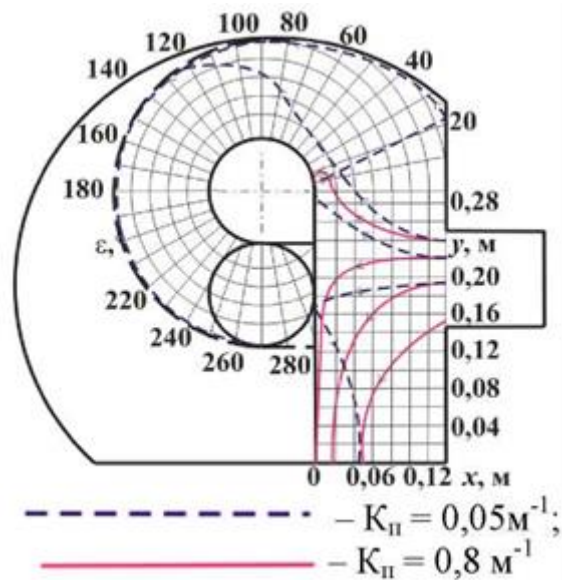
За виразами (2.5 – 2.8 Р.2) розраховано теоретичну пропускну здатність ежекторів при коефіцієнті концентрації зерна до  $k = 3$ .



**Рисунок 3.3 – Розрахункова продуктивність дробарки при подачі зерна завантажувальним пристроєм: 1 – з кутом дифузору 30°; 2 – з кутом дифузору 90°; 3 – ежектор № 1; 4 – ежектор № 2; 5 – ежектор № 3**

Аналізуючи графічні залежності можна зробити висновок, що продуктивність дробарки при подачі зерна ежектором №1 з кутом дифузора 30° є максимальна і становить 2270 кг/год (рис. 3.3), з кутом дифузора 90° - 1850кг/ч. За результатами проведених досліджень можна рекомендувати площа кільцевого зазору встановлювати в інтервалі  $(3...10) \cdot 10^3 \text{мм}^2$ , а кут дифузора близько 30°.

На підставі проведення моделювання технологічного процесу сепарації зерна в удосконаленій конструкції сепаратора і виведених залежностей (2.9 – 2.12 Р.2), побудовані траєкторії руху частинок з різними коефіцієнтами парусності (рисунок 3.4).



**Рисунок 3.4** Траєкторії руху частинок в каналах пневмосепаратора

Як видно, важкі домішки ( $K_{\text{п}} = 0,05 \text{ м}^{-1}$ ) осідають в камері для великих домішок. Причому максимальна висота вертикального каналу, на яку піднімаються великі домішки, не перевищує 0,4 м. Зерно і дрібні домішки ( $K_{\text{п}} = 0,8 \text{ м}^{-1}$ ) в залежності від координат входу в ВСК, пролітаючи частина КСК, рухаються в напрямку сепаруючої решітки, де підбором відповідної форми і розмірів вічок сепаруючої решітки відбувається доочищення зерна.

З проведеного дослідження можна зробити висновок, що встановлення в поточній лінії обґрунтованої конструкції пневмосепаратора забезпечить подачу чистого зерна до молоткової дробарки, а це в свою чергу підвищить якість виготовленого комбікорму і підвищить ресурс роботи робочих органів дробарки.

### 3.3 Висновки по розділу 3

За результатами проведених досліджень запропоновано комплект обладнання для приготування кормів в умовах фермерських і малих форм господарювання та обґрунтовано техніко конструкційні параметри завантажувального ежектора та пневмосепаратора.

## ВИСНОВКИ

Удосконалено технологічну лінію приготування кормів в умовах фермерського господарства шляхом обґрунтування використання енергії потоку повітря в ПТЛ приготування комбікормів.

Запропоновано комплект обладнання для технологічної лінії приготування кормів з врахуванням виробничої програми і умов фермерського господарства можна синтезувати різні технологічні лінії для приготування сухих сумішей концентрованих кормів, вологих сумішей концентрованих кормів (з додаванням коренебульбоплодів), ферментованих кормів.

Отримано теоретичні залежності, що дозволяють:

- визначити продуктивність дробарки зерна з пневматичним завантаженням від конструкції завантажувального пристрою (ежектора);
- визначити показники руху частинок зернофуражу і побудувати траєкторії їх переміщення в каналах пневмосепаратора для розрахунку мінімальної висоти вертикального пневмосепарувального каналу.

Загальне падіння динамічного тиску в системі кормоприготувальної лінії в залежності від конструкції ежекторів становить 48...63%; удосконалена конструкція забезпечує зниження опору руху пневмозернового потоку, що дозволяє збільшити максимальну продуктивність комбікормової лінії на 15% при оптимальних значеннях параметрів: діаметр вхідного отвору дифузора 100 мм, кут дифузора  $30^\circ$  і площа вхідного кільцевого зазору  $56 \text{ см}^2$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Авдеев, Н.Е. Центробежные сепараторы для зерна. – М.: Колос, 1975. – 152с.
2. Алешкин В.Р. Повышение эффективности процесса и технических средств механизации измельчения кормов : дис....д-ра техн. наук. – Киров, 1995. - 412 с.
3. Вайсман М. Р. Вентиляционные и пневмотранспортные установки / М. Р. Вайсман, И. Я. Грубиян. – М.: «Колос», 1984. – 367 с.
4. Горячкин, В. П. Собрание сочинений в 3 томах. Т. 3. / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – 384 с.
5. ГОСТ 9268-90. Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия. Чинний від 01.02.2002. М. : Изд-во стандартов, 1991. 10 с. (Межгосударственный стандарт).
6. ГОСТ 13496.8-72. Комбикорма. Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений. Чинний від 04.04.2011. М. : Стандартиформ, 2011. 4 с. (Межгосударственный стандарт).
7. ДСТУ 4508: 2005. Комбікорми-концентрати для свиней. Технічні умови. Чинний від 01.01. 2008. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 15 с.
8. ДСТУ 4120-2002. Комбікорми повнораціонні для сільськогосподарської птиці. Технічні умови. Чинний від 01.04.2003. К. : Держспоживстандарт України, 2003. 16 с. (Національний стандарт України).
9. Єгоров Б. В., Давиденко Т. М. Вдосконалення підготовки концентрованих кормів при виробництві повноцінних комбікормів для сільськогосподарських тварин. Корми і кормовиробництво: міжвідомчий тематичний науковий збірник Ін-ту кормів УААН. Вінниця, 2008. Вип. 61. С. 135 – 140.
10. Зуев, Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / Ф.Г. Зуев. – М.: Колос, 1976. – 344 с.



11. Коба, В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства. – М.: Колос, 2000. – 528 с.
12. Кравчук В. І., Луценко М. М., Мечта М. П. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів: науково-практичний посібник / – Київ : Фенікс, 2008. – 104 с.
13. Кукта, Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
14. Машины та обладнання для тваринництва. Підручник: / І. І. Ревенко, М. В. Брагінець, В.С. Хмельовський і інші;. – К.: ЦП «Компринт», – 2018. –567 с.
15. Машины та обладнання для тваринництва. Том 1./О.А. Науменко, І.Г. Бойко, О.В. Нанка; за ред. І.Г. Бойко. – Х.: 2006. – 225 с..
16. Мельников С. В. Моделирование рабочего процесса молотковой кормодробилки. Записки ЛСХИ. Л., 1968. Вып. 1. Т. 119. 113 с.
17. Оборудование для комбикормового производства // Комбикорма. – 2005. – № 8. – С. 32-33.
18. Подпратов Г. І. Технологія обробки, переробки зерна та виготовлення хлібопекарської продукції. К. : НАУ, 2000. 126 с.
19. Сыроватка В. И., Рыжов С. Оборудование и технические средства для приготовления комбикормов. Комбикормовая промышленность. 1997. №5. С.
20. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: Навч. посібник / Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздев О. В., Ялпачик Ф. Ю, Гвоздев В. О.; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця: Нова Книга, 2009. 488 с.
21. <https://promselproekt.all.biz/pnevmaticheskie-vsasyvayushche-nagnetayushchie-g3251432#!p%20rettyPhoto> (дата звернення: 1.10.2020)
22. <https://alekszerroteh.all.biz/pnevmoporter-zerna-g413612> (дата звернення: 1.10.2020)
23. <https://www.interagro.in.ua/> (дата звернення: 1.10.2020)
24. <http://dozamech.pl/> (дата звернення: 1.10.2020)
25. <https://www.nordmills.fi/> (дата звернення: 1.10.2020)