

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

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

УДК 621.929.7  
(індекс)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Підвищення ефективності процесу змішування концентрованих**  
(тема роботи)

**кормів з удосконалення змішувального агрегату**

**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

М.С. Ткачук

(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

Ткачук М. С. Підвищення ефективності процесу змішування концентрованих кормів з удосконалення змішувального агрегату. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз технологій та їх особливостей при приготуванні комбікормів в господарствах, зоотехнічні вимоги до їх виготовлення та конструкцій машин і механізмів для забезпечення технологічного процесу змішування комбікормів. Удосконалено конструкцію змішувача кормів безперервної дії з комбінованим гвинтовим робочим органом, що забезпечить інтенсифікацію процесу з мінімальними енергозатратами. Отримані аналітичні залежності для визначення оптимальних параметрів удосконаленої конструкції змішувача.

Ключові слова: суміш, корм, змішування, шнек, технологічний процес, продуктивність, енергозатрати.

## ANNOTATION

Tkachuk M. Improving the efficiency of the process of mixing concentrated feed to improve the mixing unit. - 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.

In the qualification work the analysis of technologies and their features at preparation of compound feeds in farms, zootechnical requirements to their manufacturing and designs of cars and mechanisms for maintenance of technological process of mixing of compound feeds is carried out. The design of the continuous feed mixer with a combined screw working body has been improved, which will ensure the intensification of the process with minimal energy consumption. Analytical dependences for determination of optimal parameters of the improved design of the mixer are received.

Key words: mix, fodder, mixing, auger, technological process, productivity, energy consumption.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ЗМІСТ.....	3
ВСТУП.....	4
1. РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1 Технологічні особливості приготування комбікормів в господарствах. Зоотехнічні вимоги.....	7
1.2 Аналіз конструкцій змішувальних агрегатів.....	10
1.3 Завдання наукових досліджень.....	16
2. РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ.....	17
2.1 Обґрунтування структурно-функціональної схеми сумішоутворення концентрованих кормів.....	17
2.2 Обґрунтування удосконалення конструкції змішувального агрегату .....	19
2.3 Визначення енерговитрат приготування суміші удосконаленим змішувачем .....	22
2.4 Дослідження продуктивності шнекового агрегату для змішування концентрованих кормів.....	24
2.5 Висновки по розділу 2.....	27
3. РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	28
3.1 Результати чисельного моделювання взаємодії прутка спірального-гвинтового робочого органу змішувача з кормом.....	28
ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Недостатня забезпеченість тваринницького поголів'я якісними кормами є однією з основних причин низької продуктивності і рентабельності всіх видів сільськогосподарських тварин і птиці. Для високих приростів потрібно забезпечити тварин збалансованими кормовими сумішами. Тільки 50% фуражного зерна переробляється в повноцінні комбікорми, а інша частина згодовується в подрібненому вигляді. Такий підхід призводить до перевитрати кормів та неефективного використання фуражних зернових. При цьому близько 54% виробленого фуражного зерна переробляється комбікормовою промисловістю, а частина, що залишилася - переробляється в індивідуальних чи фермерських господарствах. Як правило, основою комбікормів є покупні БВД і дерті з власного фуражного зерна. Приготовлені суміші не завжди мають належну рівномірність змішування, а питомі енерговитрати їх виробництва надмірно високі. На сьогоднішній день потреба в доступних змішувальних агрегатах для дрібного товаровиробника чи фермера не забезпечена і потребує вирішення.

Якість суміші визначається точністю дозування компонентів і рівномірністю їх розподілу в об'ємі суміші.

В даний час існує багато конструкцій дозуючих і змішувальних пристроїв для приготування сумішей з концентрованих кормів, що відрізняються за періодичністю роботи, конструкцією, способом і характеру руху робочого органу, типу робочого органу, характеру взаємодії компонентів суміші, і багатьом іншим критеріям, проте, незважаючи на конструкційні відмінності, більшість машин і обладнання, що випускаються серійно це безперервної і періодичної дії машини, що не розраховані на дрібнотоварне виробництво.

Змішувачі періодичної дії, особливо при дозуванні за масою забезпечують належну якість суміші, проте спостерігаються високі енерговитрати. Змішувачі безперервної дії вимагають значно менших енерговитрат, проте не завжди дотримується рецептура суміші. Також слід відмітити і складне

переналагодження на новий рецепт комбікорму. Конструкції, що користуються попитом в даний час це змішувачі періодичної дії. При малому поголів'ї, і цикловому режиму роботи змішувальних агрегатів, за допомогою змішувачів безперервної дії, можна виконувати дозування вихідних компонентів суміші за масою і їх завантаження в наддозаторний бункер. Такий підхід дозволить отримати суміш необхідного об'єму змішувальним агрегатом за невеликий проміжок часу такту змішування при високій продуктивності дозуючо-змішувальних пристроїв безперервної дії і малих питомих енерговитратах.

Такі конструкційні зміни зумовлюють удосконалення технологічного процесу за рахунок усередненого перерозподілу складу суміші завдяки введення в конструкцію накопичувальних ємностей з наступним перевантаженням в необхідний цикл роботи. Застосування ступінчатого змішування дозволяє знизити енерговитрати і полегшити розподіл меншого компонента в об'ємі кінцевої суміші. У зв'язку з цим, потреба в змішувальних агрегатах, які можуть готувати якісні комбікормові суміші з невисокими питомими енерговитратами постійно зростає. Тому дослідження і розробка конструкції змішувального агрегату, визначення раціональних параметрів і режимів роботи його дозуючих і змішувальних робочих органів, що забезпечують зниження питомих енерговитрат, при дотриманні показників якості вихідного продукту згідно ДСТУ і зоотехнічним нормам, є актуальними.

**Мета дослідження.** зниження енерговитрат на змішування сухих концентрованих кормів з обґрунтуванням конструкційних і технологічних параметрів змішувального агрегату.

**Завдання дослідження:**

1. Удосконалити конструкційно-технологічну схему змішувального агрегату концентрованих кормів з комбінованими робочими органами.
2. Аналітично виявити закономірності впливу конструктивних і кінематичних параметрів живильника і змішувача концентрованих кормів на кількісні, якісні та енергетичні показники їх роботи.

**Об'єкт дослідження** - технологічні процеси подачі основного компонента суміші і сумішоутворення сухих концентрованих кормів.

**Предмет дослідження** - кількісні, якісні та енергетичні показники продуктивності і змішування концентрованих кормів.

**Методологія и методи дослідження.** При вирішенні поставлених завдань використовувалися теоретичні (вивчення, узагальнення, аналіз, синтез, порівняння та опис) методи. Теоретичні методи ґрунтувалися на відомих принципах механіки твердих тіл, а також математичного аналізу. Одиниці виміру використані відповідно до міжнародної системи СІ. Отримані результати оброблялись з використання пакета програм на ЕОМ: Microsoft Office, Компас-3D LT V16, Statistica 5.5, Mathcad 14, Microsoft Excel. і ін.

**Практична значимість роботи.** Обґрунтовано удосконалену конструкцію змішувача концентрованих кормів для невеликих фермерських господарств. Отримані залежності по визначенню енерговитрат приготування комбікормової суміші з концентрованих кормів змішувальним агрегатом; математичні рівняння, що описують взаємозв'язок конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів змішувача.

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 34 сторінках машинописного тексту і містить 13 рисунків, список використаної літератури з 25 найменувань.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### **1.1 Технологічні особливості приготування комбікормів в господарствах. Зоотехнічні вимоги**

Кормові суміші, концентровані корми та комбікорми, незалежно від того де вони вироблені, на комбікормових підприємствах, заводах чи в приватних фермерських господарствах повинні бути підготовлені і придатні для згодовування тваринам, тобто відповідати вимогам щодо якості їх виготовлення (технологічним і обов'язково зоотехнічним) [4,5,7-10,20,25].

Зоотехнічні вимоги на приготування сухих сумішей регламентуються розміром частинок вихідних компонентів, точністю дозування при приготуванні суміші і якісними показниками кормосуміш в цілому [4,5,7-10,20,25].

При промисловому виробництві комбікормів з використанням дозаторів, які виконують дозування за масою, похибка повинна становити  $\pm 0,1...2\%$ . При використанні об'ємних дозаторів: для інгредієнтів, що складають в рецепті більше 30% - до  $\pm 1,5\%$ ; 1...30%, до  $\pm 1\%$ ; від 3 до 10 - до  $\pm 0,5\%$ ; менше 3% - до  $\pm 0,1\%$  від сумарної маси всіх інгредієнтів відповідно до рецепту кормосуміші [4,5,7-10,20,25];

Допустимі відхилення компонентів в кормосуміші (за масою компонента): грубі корми, силос, зелена маса і т.п. -  $\pm 10\%$ ; коренебульбоплоди і т.п. -  $\pm 15\%$ ; комбікорми і концентровані корми -  $\pm 5\%$ ; кормові дріжджі -  $\pm 2,5\%$ ; жири тваринні -  $\pm 1,0\%$ , молочні продукти -  $2,5\%$ ; поживні розчини -  $\pm 5\%$ , мінеральні добавки -  $\pm 5\%$ ; харчові відходи -  $\pm 5\%$  [4,5,7-10,20,25].

Рівномірність змішування (однорідність) відповідно: для ВРХ не менше 80%; для свиней - не менше 90% [4,5,7-10,20,25].

Дозування компонентів комбікорму допускається за масою (переважно) і об'ємом з похибкою не більше 3% [4,5,7-10,20,25].

Виробляють комбікорми переважно на комбікормових заводах, але невелике виробництво можливе і в спеціалізованих кормоцехах підприємства чи підсобних приміщеннях, які спеціально переобладнали для виробництва комбікормів в умовах індивідуального чи фермерського господарства з переважно власної кормової бази. З урахуванням об'єму виробництва і технологічних особливостей приготування кормосумішей існує ряд відмінностей за об'ємом виробництва і переліком наявного технологічного обладнання [9,10,12-19,22].

На комбікормових заводах на початковому етапі виробляють премікси, які в подальшій технологічній лінії виконують роль вхідних інгредієнтів збалансованого корму. На їх основі готуються БВД і БВМД. [9,10,12-19,22].

Існує кілька основних технологічних схем виробництва комбікормів [9,10,12-19,22] розглянемо їх більш детально.

*Послідовно-паралельна підготовка всіх компонентів і одноразове дозування* (класичний спосіб). В даному випадку проводиться послідовна підготовка кожного з компонентів (згідно рецептури вихідного корму) і одержуваний продукт (по кожному компоненту) завантажується в окремий накопичувальний бункер (об'ємом на 8...36 годин роботи підбункерного дозатора). У міру накопичення всього комплекту інгредієнтів, вони паралельно дозуються і завантажуються в змішувач для отримання суміші. Недоліком даної схеми є потреба у великій кількості бункерів, транспортних пристроїв і великих витратах енергії [9,10,12-19,22].

*Формування вхідних зернових, білково-мінеральних сумішей з повторним їх дозуванням.* В даному випадку приготування суміші виконується не з повного набору вхідних компонентів, а з сумішей, що приготовлені із декількох інгредієнтів, і подальше їх приготування в кінцеву суміш. В даному випадку маємо скорочення кількості накопичувальних бункерів для всіх інгредієнтів (замість 30...35 бункерів і більш до 7...15 бункерів). Нажаль, при приготуванні вхідних сумішей частина компонентів втрачає свої кількісні і якісні характеристики в накопичувальних бункерах, під час зберігання і транспортерах.



Наявність неврахованих залишків порушує ритм технологічного процесу [9,10,12-19,22].

*Приготування вхідних зернових, білково-мінеральних сумішей без повторного дозування.* Особливістю даної технологічної лінії є приготування порцій вхідної суміші з білково-мінеральної сировини в оперативному бункері (2...3 т). Відповідно до рецептури суміші до об'єму білково-мінеральної суміші додаються решта вхідних сумішей. За такого методу дробарки працюють циклічно в залежності від необхідності якогось компонента суміші, також кількість бункерів різко скорочується. Залишаються 2...3 компонента на основі шротів, подрібнених зернових, фосфатів і кілька бункерів з багатоконцентним дозатором [9,10,12-19,22].

*Прямоточний метод.* Використовуються висотні будівлі з вертикальним рухом компонентів, що спрощує і здешевлює транспортування сировини. Застосовується технологічно очищена сировина, яка дозується і поступає в загальний технологічний потік. Остаточне формування суміші відбувається в змішувачі в нижній частині будівлі. Перевагою є низькі енерговитрати за рахунок вертикального осипання з одночасним подрібненням і змішуванням [9,10,12-19,22].

Виробляють комбікорми на заводах чи фабриках, з великим об'ємом виробництва, по останньому методу, рідше використовують другий чи третій [13

В сільськогосподарських підприємствах чи фермерських господарствах, які займаються тваринницькою галуззю, найчастіше готують комбікорми і концентровані суміші з придбаних преміксів або БВД і власних, або закупівельних фуражних зернових чи зернобобових. Використання власного фуражу значно знижує вартість кормових сумішей і підвищує рентабельність тваринництва [9,10,12-19,22].

Приготування комбікормів в господарствах переважно виконують на основі двох (дозування + змішування), або трьох (дозування + подрібнення + змішування) операцій технологічного процесу [9,10,12-19,22].

На основі вище поданої інформації робимо висновок, що найбільш ефективним є застосування ступінчатого змішування. В якому поєднано синтез

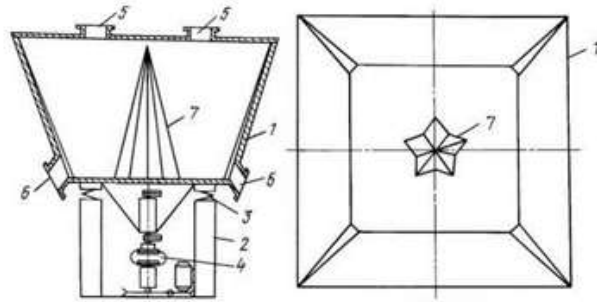
операцій: попереднє зважування вхідних інгредієнтів суміші, безперервного об'ємного дозування з безперервним змішуванням для порції суміші (тобто циклічна робота), що забезпечить високу надійність і продуктивність процесу з мінімальними енерговитратами при приготування кормосуміші. Наступним етапом є використання змішувальних бункерів-накопичувачів або порційних змішувачів, що дозволить приготувати якісну суміш (дотримати рецептуру суміші по всьому її об'єму порції) і зменшити енерговитрати на приготування суміші за рахунок мінімізації тривалості порційного змішування.

## **1.2 Аналіз конструкцій змішувальних агрегатів**

Аналіз пристроїв для змішування кормів і їх класифікацій [1,2,6,12-19,21-24] показав, що всі змішувальні агрегати за принципом дії можна поділити на дві групи: періодичної(циклічної) і безперервної.

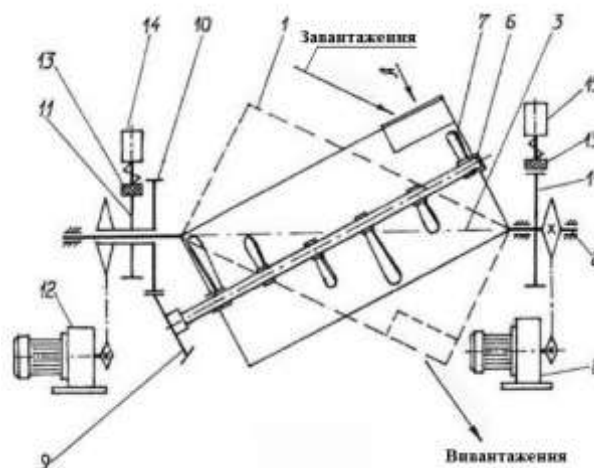
Змішувачі періодичної дії розрізняються головним чином з рухомою і нерухомою місткістю [1,2,6,12-19,21-24], Прикладом змішувачів з рухомою ємністю є вібраційні, з ємністю, що обертається (вертикально, горизонтально, похило), і ті які виконують складні просторові рухи (планетарні) [1,2,6,12-19,21-24].

У вібраційні змішувачі для утворення суміші компоненти надходять на початку циклу. Наприклад, в змішувач (рис. 1.1) [1,13,14,19,22,24] інгредієнти завантажуються в призматичний корпус 1 через штуцер завантаження 5. В результаті коливань, створюваних віброзбуджувачем 4 і переданих призматичним корпусом 1 і внутрішнім робочим органом 7, відбувається процес змішування. При зіткненні з поверхнею корпусу і внутрішнім робочим органом, частинки суміші отримують додатковий імпульс, набуваючи хаотичного руху, а значить, швидше і краще відбувається змішування компонентів. Причому наявність криволінійних поверхонь у корпусі і робочій насадці виключає від ефекту проковзування компонентів, що змішуються і сприяє їх інтенсивному змішуванню. Готова суміш вивантажується через штуцери вивантаження 6.



**Рисунок 1.1- Вібраційний змішувач:** 1 - призматичний корпус; 2 – рама; 3 - амортизатори; 4 - вібробуджувач; 5 - штуцери завантаження; 6 - штуцери вивантаження; 7 - робочий орган.

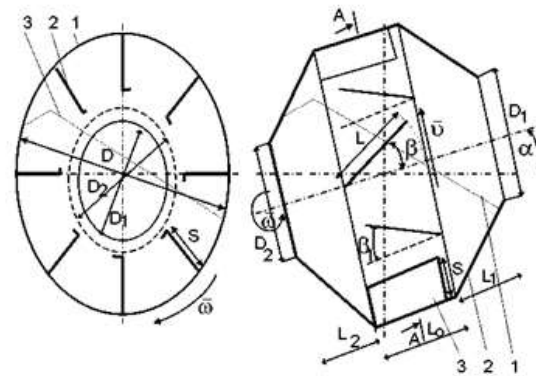
При роботі планетарних змішувачів [3,13,22] рух компонентів під час змішування здійснюється по складному просторовому русі з постійно змінними напрямками руху частинок під дією гравітаційних сил, відцентрових сил інерції і лопатей, що забезпечує інтенсивне і якісне приготування кормосуміші.



**Рисунок 1.2- Планетарний змішувач 6З:** 1 - контейнер; 2 - цапфи; 3 - вісь; 4 - горловина; 5 - кришка; 6 - вал; 7 - лопаті; 8 - мотор-редуктор; 9 - зубчасте колесо; 11 - гальмівний барабан; 12 - автономний привід; 13 - гальмо; 14 - електромагніт; 15 - гальмо.

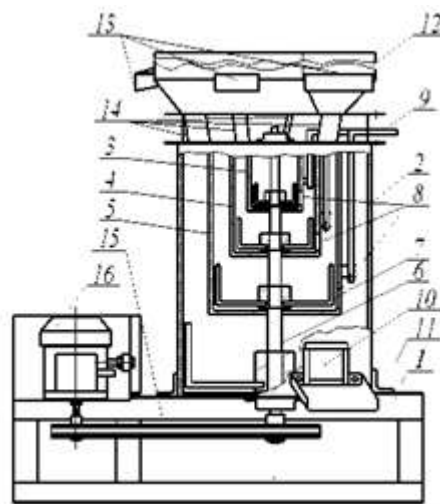
Застосування змішувачів з похилою обертовою ємністю (рис. 1.3) дозволяє при періодичному режимі роботи протягом двох-трьох хвилин готувати порцію суміші різної вологості з низькими енерговитратами [10,12-15,22]. Низький попит на дану конструкцію обумовлений обмеженням по мінімальній порції меншого компонента і розподілені її по об'ємі всієї кормосуміші. Для зниження покращення роботи пропонувалося використання різнопохилих лопатей і кут

обертання ємності близько  $15^\circ$ . Однак в даному випадку буде низький ступінь заповнення ємності, що збільшує об'єм конструкції.



**Рисунок 1.3 – Конструкційна схема барабанного змішувача:** 1 – ємність барабана; 2 – лопать; 3 – робоча зона змішувача.

Прикладом змішувачів з нерухою місткістю є пристрої, зображені на рисунках 1.4...1.5. В даному випадку рухається, здійснюючи обертальні, або складні просторові рухи, механічний робочий орган різної конструкції: лопатеві, гвинтові і т.п. робочі органи [10,12-15,22]. Конструкція робочих органів іноді приймає складну форму: комбіновані робочі органи, вставлені ємності одна в одну і т.п.

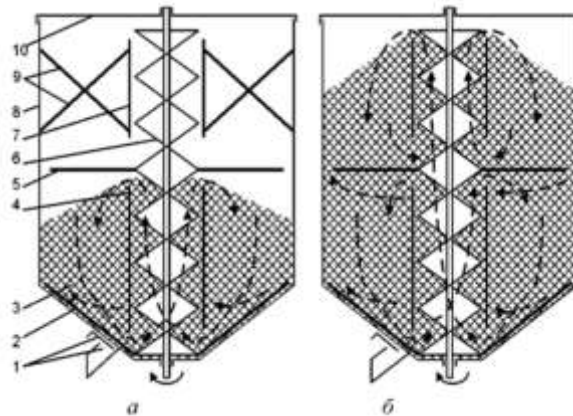


**Рисунок 1.4. Конструктивно-технологічна схема змішувача мікродобавок:** 1 - рама; 2 - корпус; 3, 4, 5 - змішувальні ємності; 6 - центральний вал; 7 - мішалка; 8 - заслінка ємностей; 9 - рукоятка; 10 - вивантажний заслінка; 11 - лоток; 12 - бункер; 13 - заслінки бункера; 14 - гнучкий шланг; 15 - клинопасова передача; 16 - електродвигун.

Змішувач мікродобавок складається з корпусу 2, всередині якого встановлені три циліндричні ємності 3, 4, 5. Через ці ємності проходить вал 6, на якому закріплені мішалки з Г-подібними лопатями 7, виконані з прутка круглого перерізу. Кожна ємність має вивантажувальне вікно з заслінкою 8, що відкривається за допомогою рукояток 9. Корпус 2, так само має вивантажувальне вікно з отвором 10 і лотком 11 для вивантаження готової суміші. Над корпусом розташовується бункер 12 з заслінками 13, розділений на чотири секції. Привід змішувача мікродобавок здійснюється за допомогою клинопасової передачі 15 від електродвигуна 16.

Підвищення рівномірності розподілу мікрокомпонентів в суміші забезпечується за рахунок ступеневого змішування компонентів (поступового розподілу частинок мікрокомпонентів в зростаючому об'ємі суміші), а також турбулентного режиму змішування в кожній ємності за рахунок кінетичної енергії лопатей мішалок [2,10,12-15,22].

Прикладом ступеневого змішування в циркуляційному режимі є конструктивно-технологічна схема змішувача представлена на рисунку 1.5 [22].



**Рисунок 1.5 – Конструктивно-технологічна схема змішувача з вертикальним шнеком для ступеневого змішування сухих кормів:**

а - попереднє змішування (перший етап); б - основне змішування (другий етап);  
 1 - вивантажувальний лоток з заслінкою; 2 - лопаті; 3 - кормосуміш; 4 - нижній кожух шнека;  
 5 - лопатки; 6 - шнек; 7 - верхній кожух шнека; 8 - корпус змішувача; 9 - нерухомі пластини;  
 10 – кришка.

Складається змішувач з вертикальної циліндричної ємності 8 з конусоподібним дном. У нижній частині бункера встановлено вивантажувальний отвір з заслінкою 1. У верхній частині є завантажувальне вікно, що закривається кришкою 10. В середині ємності встановлений вертикальний двухзахідний шнек 6. Кожух шнека складається з двох частин - нижньої 4 і верхньої 7, в проміжку між якими є відкритий простір. У нижній і центральній частині шнека встановлені циліндричні лопатки 5 і лопаті 2, що запобігають заляганні суміші в робочій частині шнека.

Працює змішувач наступним чином. При відкритті кришки проводиться завантаження компонентів первинної суміші. Кришка 10 закривається, включається привід змішувача і компоненти змішуються. Лопатями 2 суміш змішується і подається до шнека 6. шнек суміш піднімає вгору, одночасно змішуючи її. У міру пересипання суміші через кожух 4, вона зсипається вниз, утворюючи конусну поверхню.

При зсипанні нових порцій суміші, що подаються шнеком, відбувається додаткове змішування.

При готовності первинної суміші зупиняють привід і досипають необхідні кормові компоненти і добавки.

У міру збільшення об'єму кормосуміші траєкторія її руху ускладнюється. Частина корму, що піднімається шнеком 6, як і раніше пересипається через кожух 4, а інша частина піднімається вгору і пересипається через кожух 7. Частина корму переміщається шнеком 6 під кожухом 7. Лопатки 5, рухаючись в горизонтальній площині при обертанні шнека, додатково змішують кормосуміш. Коли суміш готова, відкривається заслінка 1 і суміш вивантажується зі змішувача [10,12-15,22].

У першій з поданих схем (рис.1.5 а) ємності меншого об'єму простоюють при роботі великих ємностей, в той час як у другому варіанті (рис.1.5 б) загальний об'єм змішувача це сукупність всіх ємностей, що більш ефективно.

Додаткове підвищення ефективності використання об'єму змішувача можливе при спрощенні його конструкції, коли здійснюється поетапне

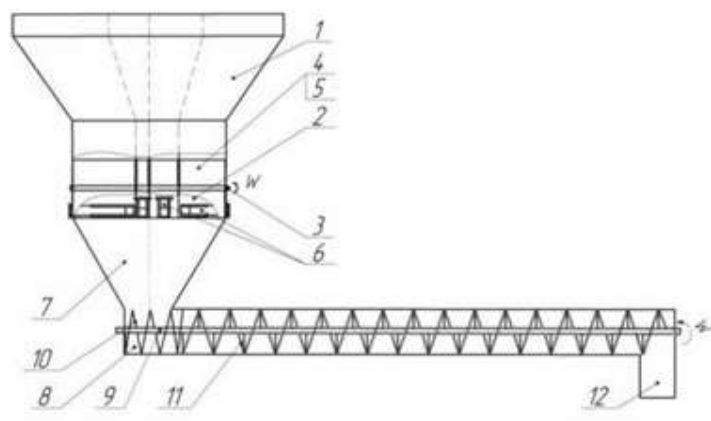
змішування при різному ступені заповнення ємності, використовуючи або набір ємностей, або одну ємність з різним ступенем заповнення.

Проведений аналіз дозволив виявити перспективність застосування змішувальних агрегатів і технологічних ліній безперервного принципу дії.

Робочі органи змішувача безперервної дії дуже часто відповідають робочим органам змішувача періодичної дії. При цьому, в одному місці завантажуються вихідні компоненти, а в іншому - безперервно вивантажуються змішані суміші.

Іншим різновидом подібних змішувачів є пристрої, що транспортують корм на деякі відстані з одночасним змішування компонентів. Прикладом є гвинтові (шнекові) змішувачі. [2,3,6,11,13-19,22,23].

Прикладом гвинтового змішувача може бути конструкція, що представлена на рисунку 1.6. [2,3,6,11,13-19,22,23].



**Рисунок 1.6 – Конструкційна схема змішувача сипучих кормів і добавок:** 1 - бункер; 2 - дозатор; 3 - вал дозатора; 4 – лопатевий барабан; 5 – лопаті; 6 - заслінка; 7 - камера попереднього змішування; 8 - камера основного змішування; 9 - вал змішувача; 10 - шнек; 11 – гвинтовий конвеєр; 12 – вивантажувальне вікно.

Проведений огляд досліджень гвинтових робочих органів показав досить ґрунтовне опрацювання зазначених робочих органів. Авторами рекомендується тихохідний режим роботи: частота обертання гвинта  $60 \dots 120 \text{ хв}^{-1}$ , колова

швидкість близько 1,2 м/с, крок гвинта при змішуванні 0,3D, а при транспортуванні близько 1,0D. [2, 3,6,11,13-19,22,23]

Одним з перспективних робочих органів є поєднання пруткової спіралі з конструкцією гвинтового конвеєра. Однак розташування спіралі безпосередньо на поверхні кожуха конвеєра сприяє зростанню енерговитрат процесу. Розташування даної спіралі на опорному валу з зазором біля кожуха знизить енерговитрати процесу.

### **1.3 Завдання наукових досліджень**

Аналіз сучасного стану питання показав, що процес приготування сумішей недостатньо вивчений, основні роботи виконані в області обґрунтування робочих органів конкретної конструкції. Однак до теперішнього часу питання зниження енерговитрат при приготуванні сумішей з обґрунтуванням конструкційних і режимних параметрів змішувача агрегату з комбінованими спіраль-но-гвинтовими робочими органами є недостатньо дослідженим і вимагає нових рішень.

На основі проведеного аналізу, теми роботи і мети запишемо задачі дослідження:

1. Удосконалити конструкційно-технологічну схему змішувального агрегату концентрованих кормів з комбінованими робочими органами.
2. Аналітично виявити закономірності впливу конструктивних і кінематичних параметрів живильника і змішувача концентрованих кормів на кількісні, якісні та енергетичні показники їх роботи.



## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ

#### **2.1 Обґрунтування структурно-функціональної схеми сумішоутворення концентрованих кормів**

На сьогоднішній день поганий стан технічної забезпеченості комбікормової галузі вітчизняного виробництва обумовлений вкрай завищеною вартістю сільськогосподарських машин, низькою якістю їх виготовлення і недостатньою надійністю, неуккомплектованістю технологічних комплексів є однією з основних причин низької якості вироблених комбікормів і високою їх вартістю, що в свою чергу призводить до зниження рентабельності тваринницької галузі.

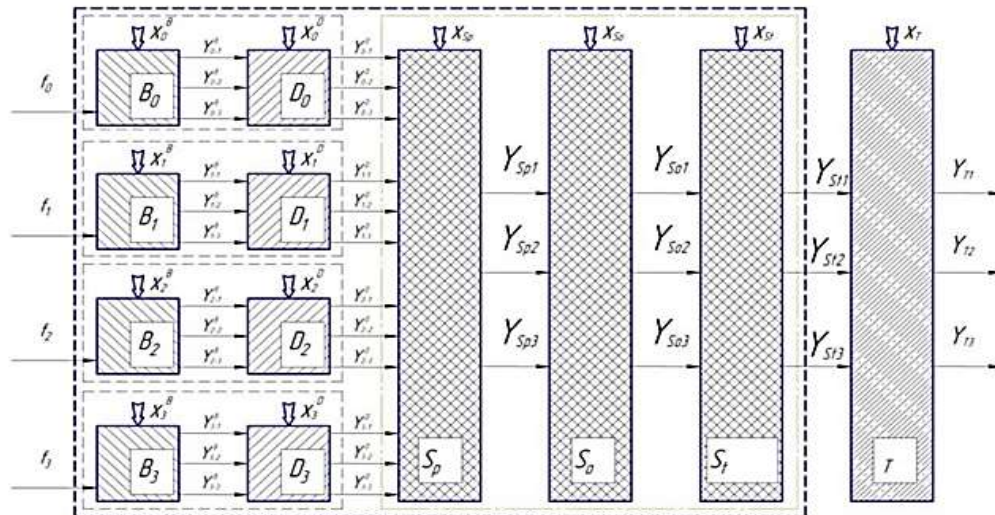
В зв'язку з цим стало питання наукового обґрунтування сучасної технології чи технологічної лінії змішування сухих сумішей як пріоритетного напрямку годівлі тварин, що характеризується зниженими затратами праці, меншого комплексу машин і обладнання і відповідно енергетичних затрат.

На основі проведеного інформаційного пошуку і проведені власних теоретичних досліджень запропонована структурна схема функціонування лінії змішування сухих сумішей (рис.2.1), що характеризується універсальністю і може бути використана для обґрунтування і організації великих підприємств по виробництву комбікормів, а також реорганізації невеликих підприємств чи виробників тваринницької продукції які за рахунок власної рослинної бази виробляють власні комбікорми.

При розгляді робіт технологічних ліній і агрегатів, що готують суміші враховано взаємодію змішувальних і дозуючих пристроїв, транспортування продукту, а також можливість сегрегації компонентів суміші[1-3,9,10,12-19,24].

При описі процесу сумішоутворення (Рис. 2.1) в якості показників роботи пристроїв і агрегатів визначають [1-3,9,10,12-19,24]:

- продуктивність дозуючих пристроїв на конкретних інгредієнтах суміші з урахуванням потрібної рецептури суміші, а продуктивність змішувального агрегату  $Y_{st1}$ , описується як сума продуктивності дозуючих пристроїв;
- якісні показники виконуваних операцій  $Y_{st2,3}$ ;
- потужність, що витрачається на привід пристроїв і питомі енергозатрати післяопераційні і сумарні  $Ye$ .



**Рисунок 2.1 - Структурна схема функціонування лінії змішування сухих сумішей:**  $f_0, f_1, f_2, f_3, f_i$  - узагальнені статистичні показники, що характеризують гранулометричний склад компонентів суміші / які надійшли на зберігання в бункери  $B$  з подальшим дозуванням дозаторами  $D$  / відповідно  $0$  - контрольного (з меншою часткою в рецепті суміші) і  $1,2,3, i$  - інших компонентів суміші, їх фізико-механічні властивості;  $B_0...B_i$  - бункери тимчасового зберігання та накопичення компонентів;  $D_0...D_i$  - дозатори компонентів, що надходять на змішування;  $S$  - змішувач, що включає в себе змішувальні пристрої попереднього ( $S_p$ ) і основного ( $S_o$ ) змішування, включаючи транспортування ( $S_t$ );  $X_{d0}, X_{d1}, X_{d2}, X_{d3}, X_{di}$  - узагальнені значення внутрішніх факторів дозуючих пристроїв;  $X_{sp}, X_{so}, X_{st}$  - узагальнені показники внутрішніх факторів змішувальних пристроїв попереднього ( $p$ ), основного ( $o$ ) і в процесі транспортування ( $t$ );  $Y_{i-1}^j$  - продуктивність (подача)  $i$ -го (або іншого, відповідно) компонента, що надходить з  $j$ -го пристрою ( $j = B$  - бункера,  $j = D$  - дозатора) на змішування,  $Y_{i-2}^j$  - відхилення від заданого значення подачі,  $Y_{i-3}^j$  - нерівномірність подачі;  $Y_{sp1}, Y_{so1}, Y_{st1}, Y_{T1}$  - частка компонента в суміші різного ступеня готовності ( $sp$  - після попереднього змішування;  $so$  - після основного змішування;  $st$  - після транспортування із змішувального агрегату;  $T$  - після транспортування суміші від місця виробництва до місця використання);  $Y_{sp2}, Y_{so2}, Y_{st2}, Y_{T2}$  - відхилення частки компонентів від рецепта в суміші в різних місцях контролю;  $Y_{sp3}, Y_{so3}, Y_{st3}, Y_{T3}$  - якість суміші (нерівномірність змішування / коефіцієнт варіації) змішувальних пристроїв попереднього, основного змішування і після транспортування в різних місцях контролю; при цьому узагальнені показники, що характеризують енерговитрати  $Ye$ , матеріаломісткість  $Ym$  і надійність  $Yn$  системи технічних засобів в структурну схему умовно не було введено.

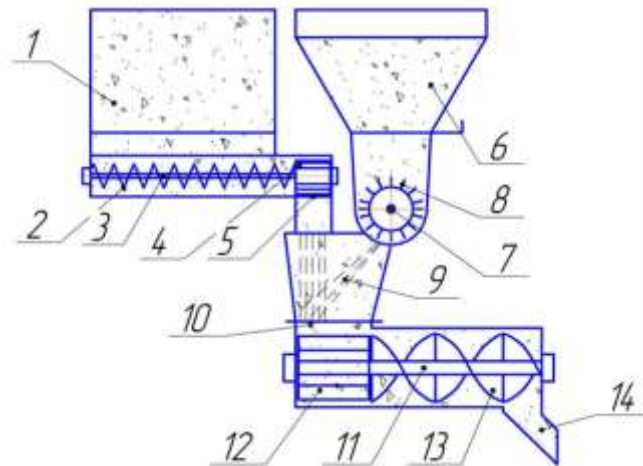
На основі запропонованої схеми, з метою зниження витрат енергії і прискорення розподілу компонентів в об'ємі суміші, пропонується використовувати поетапне змішування компонентів. Так, частини потоку наповнювача (компонента з основною часткою в рецепті суміші) виходячи із дозатора взаємодіють з потоками добавок. Отримані при цьому потоки таких сумішей при подальшому змішуванні швидше і якісніше розподіляються один в одному, ніж кожен малий компонент окремо розосереджується в великому об'ємі наповнювача.

## **2.2 Обґрунтування удосконалення конструкції змішувального агрегату**

Якість суміші визначається точністю дозування компонентів і рівномірністю їх розподілу в обсязі суміші[1-3,9,10,12-19,24]. При малому поголів'ї і в разі дискретного режиму роботи змішувальних агрегатів на основі змішувачів безперервної дії є можливість застосування масового дозування вихідних компонентів суміші і їх завантаження в наддозаторний бункер. Можливо, отримати необхідну кількість суміші змішувальним агрегатом за короткий такт змішування при високій продуктивності дозуючо-змішувальних пристроїв безперервної дії і невеликих питомих енерговитратах. Застосування ступеневого змішування дозволяє знизити енерговитрати і полегшити розподіл меншого компонента в обсязі кінцевої суміші[1-3,9,10,12-19,24].

У зв'язку з цим, потреба в змішувальних агрегатах, здатних готувати якісні суміші з невисокими питомими енерговитратами неминуче зростає.

В результаті аналізу літературних джерел та патентного огляду обґрунтовано конструктивно-технологічну схему змішувача (рис. 2.2.). Змішувальний агрегат складається з системи подачі наповнювача (основного компонента), системи подачі добавок і системи змішування компонентів суміші.



**Рис. 2.2 - Конструктивно-технологічна схема змішувального агрегату:**

1 - бункер-живильник; 2 – вивантажувальний спірально-гвинтовий шнек; 3 - вал; 4 - ворушилка зі спіральними лопатями; 5 - сітка; 6 - бункер-дозатор; 7 - вал; 8 - лопатеві барабани; 9 – камера попереднього змішування; 10 - камера основного змішування; 11 - приводний вал; 12 - мішалка зі спіральними лопатями; 13 - двухзахідний спірально-гвинтовий конвеєр; 14 – вивантажувальний лоток;

У нижній частині бункера-живильника 1 наповнювача встановлений комбінований робочий орган - вивантажувальний спірально-гвинтовий шнек 2, виконаний у вигляді спіралі круглого перетину, закріпленої на валу 3, а в зоні вивантажувального отвору на валу вивантажувального шнека встановлена ворушилка зі спіральними лопатями 4. Під ворушилкою 4 розташована сітка 5 з прямокутними отворами перекриває вивантажний вікно.

Поруч з бункером-живильником 1 розташований багатокomпонентний бункерний дозатор 6 сухих добавок, що має декілька секцій. Всередині, в нижній частині бункера-дозатора, розташований дозуючий пристрій. Він складається з горизонтального вала 7 з жорстко встановленими на ньому лопатевими барабанами 8 з заслінками. Під усіма зазначеними бункерами розташовується камера попереднього змішування 9, нижче якої розміщена камера основного змішування 10. Вона розташовується всередині циліндричного кожуха змішувача з комбінованим робочим органом.

Змішувач являє собою циліндричний кожух з горизонтальним поздовжнім приводним валом 11. На валу жорстко встановлений комбінований робочий орган. У зоні завантаження він виконаний у вигляді мішалки зі спіральними лопатями 12, які мають великий крок гвинта (як і спіральні лопаті ворушилки 4), що переходить в двухзахідний спірально-гвинтовий конвеєр 13. Для вивантаження готової суміші встановлено вивантажний лоток 14.

Робота змішувального агрегату відбувається наступним чином: завантажена суміш в бункер-живильник 1 направляється вивантажувальним спірально-гвинтовим шнеком 2 до ворушилки зі спіральними лопатями 4.

Вони одночасно розпушують і руйнують ущільнення утворені в потоці суміші, забезпечуючи її рух безперервним потоком через сітку 5 в камеру попереднього змішування 9. Одночасно лопатеві барабани 8 захоплюють із секцій багатокomпонентного бункера-дозатора 6 добавки і направляють їх до вивантажувальних отворів дозаторів. Так як кутова швидкість вихідного потоку частинок велика, а отвори вивантажувальних вікон малі, то частинки добавок виходять суцільними безперервними потоками і летять в напрямку безперервного потоку суміші із бункера-живильника 2. Компоненти суміші взаємодіють і змішуються в камері попереднього змішування 9. Отримані потоки попередніх сумішей єдиним потоком надходять в змішувальну камеру 10. Мішалка обертається зі спіральними лопатями 12 забезпечуючи змішування компонентів. За рахунок накопичення корму в зоні спіральних лопатей мішалки 12 здійснюється усереднення вмісту добавок у загальному обсязі суміші. Надлишок матеріалу суміші і вплив спіральних лопатей мішалки 12 забезпечують зсув суміші до двухзахідного спірально-гвинтового конвеєра 13, де додатково змішується і переміщується суміш яка направляється до вивантажувального лотка 14.

Поліпшення якісних показників і зниження енергозатрат сумішоутворення відбувається за рахунок застосування ступеневого (в кілька етапів) змішування: попереднього змішування потоків інгредієнтів, що забезпечує взаємне проникнення і попереднє змішування їх часток з малими енерговитратами і

високою рівномірністю подачі інгредієнтів; наявність двох ділянок комбінованого робочого органу забезпечують двоетапне змішування, де на першій ділянці спіральними лопатями здійснюється усереднення вмісту інгредієнтів у змішувальному об'ємі, з послідуочим змішуванням спіральнo-гвинтовим конвеєром в процесі транспортування і відвантаження. Поєднання декількох етапів змішування з різною інтенсивністю дозволяє підвищити якісні показники готової суміші. Використання робочих органів з малою площею поперечного перерізу дозволяє при низьких енерговитратах процесу підвищити кінематичний режим, інтенсифікувавши процес змішування.

### 2.3 Визначення енерговитрат приготування суміші удосконаленим змішувачем

Для визначення енерговитрат приготування суміші  $Y$  (Дж/кг) на основі сухого наповнювача і внесення в нього добавок потрібно знати витрачену на даний процес енергію (роботу)  $A$  (Дж) і масу приготовленої суміші  $M$  (кг) [2,3,21,24].

$$Y = \frac{T \cdot \sum N_{\Sigma i}}{\sum M_i \cdot \tau_c} = \frac{(N_H + N_{Д1} + N_{Д2} + N_{Д3} + N_{ЗМ}) \cdot T}{\sum Q_i \cdot \tau_c}, \quad (2.1)$$

де  $N_{\Sigma i}$  - сумарна потужність приводу на подачу  $i$ -го компонента, Вт;

$M_i$  - маса  $i$ -го компонента суміші, кг;

$N_H$  - потужність приводу живильника (основного компонента), Вт;

$N_{Д1}, N_{Д2}, N_{Д3}$  - потужність приводів дозаторів добавок, Вт;

$N_{ЗМ}$  - потужність приводу змішувача, Вт;

$Q_i$  - масова подача (продуктивність) дозатора  $i$ -го компонента суміші, кг;

$T$  - тривалість такту приготування суміші, с;

$\tau_c$  - коефіцієнт використання часу циклу тактом змішування.

Виходячи з рецептури суміші визначимо масу її компонентів [12-14,15,17,21]:

$$M_{Di} = M_{\Sigma} \cdot d_{Di} \quad M_H = M_{\Sigma} - \sum M_{Di}, \quad (2.2)$$

де  $M_{Di}$ ,  $M_H$  - маса;  $i$ -их добавок і наповнювача, кг;

$d_{Di}$  - доля  $i$ -их добавок рецептури суміші.

Необхідний об'єм компонентів суміші[12-14,15,17,21], м<sup>3</sup>:

$$V_H = M_H \cdot \rho_H \quad V_{Di} = M_{Di} \cdot \rho_{Di} \quad V_{\Sigma} = M_{\Sigma} \cdot \rho_{\Sigma}, \quad (2.3)$$

де  $\rho_H$ ,  $\rho_{Di}$ ,  $\rho_{\Sigma}$  - щільність наповнювача,  $i$ -х добавок і щільність суміші, кг/м<sup>3</sup>;

Необхідна продуктивність подачі компонентів ( $Q_{Di}$  і  $Q_H$ ) і суміші ( $Q_{\Sigma}$ ), кг/с:

$$Q_{Di} = \frac{M_{Di}}{T} \quad Q_H = \frac{M_H}{T} \quad Q_{\Sigma} = \frac{M_{\Sigma}}{T}, \quad (2.4)$$

У разі установки декількох високошвидкісних дозаторів з вивантажувальною горловиною у вигляді щілини на одному валу в такому випадку утворюється єдиний багатокомпонентний дозатор. Регулювання подачі компонентів, якого здійснюється регулювальними заслінками, відносно подачі живильника.

Споживана потужність багатокомпонентного дозатора визначається, Вт[12-14,15,17,21]:

$$N_{D\Sigma} = \frac{\sum N_{Di}}{\eta_D}, \quad (2.5)$$

де  $\eta_D$  - ККД приводу багатокомпонентного дозатора.

Таким чином, потрібно встановити параметри роботи і приводу спірально-гвинтових робочих органів живильника наповнювача і змішувача безперервної дії, що мають спільну конструктивну схему.

Потрібна потужність приводу живильника наповнювача сухого корму визначиться[12-14,15,17,21]:

$$N_{ДС} + N_{РС} = \frac{N_{Ш} + N_{В}}{\eta}, \quad (2.6)$$

де  $N_{Ш}$ ,  $N_{В}$  - потужність, необхідна відповідно на привід спірально-гвинтового шнека і лопатей ворушили живильника, Вт;

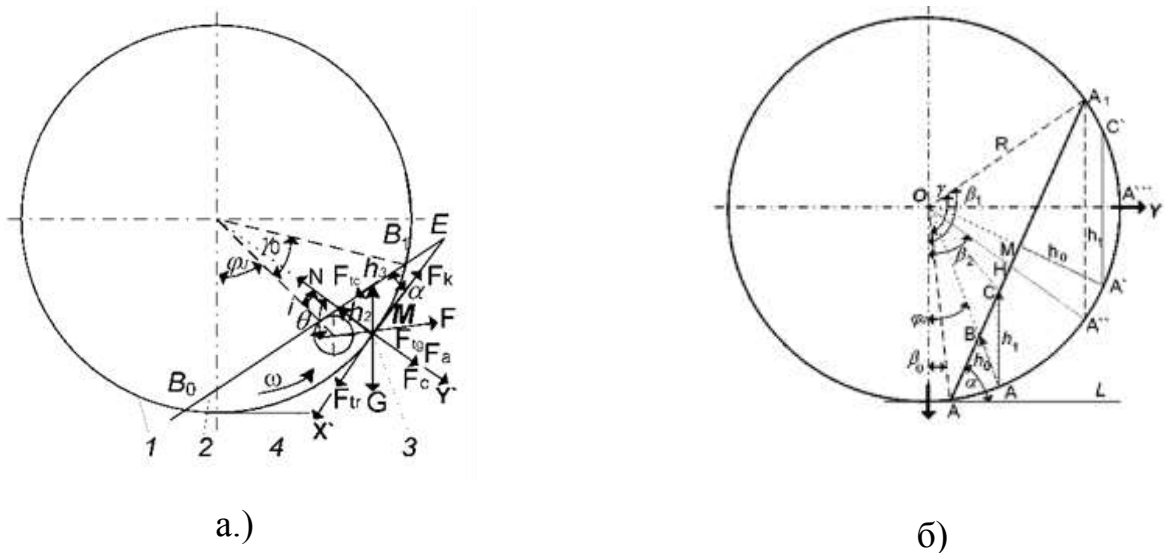
$\eta$  - ККД приводу робочого органу.

## 2.4 Дослідження продуктивності шнекового агрегату для змішування концентрованих кормів

Розглянемо роботу спірального гвинтового конвеєра (рис.2.3.а), як основного робочого органу змішувального агрегату. Частинки корму будуть захоплюватися рухомим елементом (гвинтовою спіраллю) і підніматися вгору по кожуху змішувача 1 або дозатора живильника.

Досягнувши деякого кута підйому (рис. 2.3 б), частинки будуть осипатись вниз, утворюючи зовнішній край порції корму ( $A_0A_1$ ) під кутом  $\alpha$  - динамічним кутом обвалення корму щодо горизонталі, рад.

При проведенні силового аналізу (рис. 2.3 а) приймемо допущення, що частинка корму в поперечному перерізі кожуха розташована під кутом  $\alpha$  до горизонталі, змістившись в одну сторону по напрямку руху спіралі. При цьому, попереду поперечного перерізу прутка спіралі утворюється клиновидне ущільнення частинок, що сприяє переміщенню шарів корму в заповненому частинками корму просторі.



**Рисунок 2.3 – Схема:** а) силового аналізу; б) заповнення кормом циліндричного кожуха спірально-гвинтового конвеєра: 1 – циліндричний кожух; 2 – зовнішній край порції корму; 3 – умовна частинка; 4 – поперечний переріз прутка спірально-гвинтового конвеєра;



Для силового аналізу руху частинок корму і робочого органу необхідно знати величини сил (рис. 2.3), що діють на частку  $M$  (як аналога елементарного поперечного перерізу порції частинок корму).

Зовнішніми силами, що діють на частинку  $M$  є тиск конусного стовпа ущільнених частинок, розташованих над нею (сила тяжіння  $G$ ), інерційний вплив від обертання (відцентрова сила  $F_c$ ). На досліджувану частинку діє сила прискорення від набігаючих частинок наступної порції корму, що захоплені наступним витком (сила прискорення  $F_a$ ), сила Кориоліса ( $F_k$ ) і внутрішнє тертя зсувають шари частинок по клину більш ущільненого шару ( $F_{tc}$ ). Долаючи зазначені сили і силу тертя корму об стінку кожуха ( $F_{tr}$ ), здійснюється силовий вплив  $F$  прутка спіралі, що рухається біля кожуха змішувача на частинку  $M$ .

На основі аналізу розрахункових схем запишемо рівняння силового балансу впливу порції частинок корму на кожух, Н:

$$\begin{cases} \sum F_x = F_{tr} + G \cdot \sin \varphi - F \cdot \sin \theta + F_{tc} \cdot \cos \alpha - F_k = 0 \\ \sum F_y = F_a + F_{tg} + F_c + G \cdot \cos \alpha - N + F \cdot \cos \theta - F_{tc} \cdot \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

де  $\varphi = \varphi_j$  – поточний кут положення поперечного перетину прутка спіралі щодо вертикалі, град.;

$$G = m \cdot g = (\rho \cdot \Delta S \cdot h_1) \cdot g, \quad (2.8)$$

де  $G$  – сила тяжіння, Н;

$m$  – маса стовпа корму над умовною частинкою корму, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\rho$  – густина матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;

$h_1$  – висота вертикального стовпа матеріалу, м;

$\Delta S$  – площа поперечного перерізу елементарної частинки на поверхні циліндра (м<sup>2</sup>), що відповідає куту  $\varphi=1^\circ$  центрального кута елементарній порції частинок корму і його ширині ( $s/360^\circ$ ), при  $s$  – крок витка спіралі, м.

Продуктивність гвинтового змішувача[2,3,6,11] знайдемо за формулою 3:

$$Q = 15 \cdot \omega \cdot \left[ (R - r_{\Delta})^2 - (R - 2r - r_{\Delta})^2 \right] \cdot s \cdot \rho \cdot z \cdot k_q \cdot \frac{\gamma}{\pi}, \quad (2.9)$$

де  $k_q$  - емпіричний коефіцієнт, який враховує втрати подачі корму через його пересипання під час транспортування;  $z$  – кількість робочих спіралей в робочій зоні, шт.

Аналізуючи взаємодію сил нормальної реакції і тертя, видно, що в залежності від кута тертя рівнодіюча цих сил може бути спрямована назовні (вперед по ходу переміщення корму), всередину (назад), або поперек напрямку переміщення корму. Відповідно при максимальному кроці гвинта порція корму перестане переміщатися[2,3,6,11,13].

Для забезпечення якісного транспортування і змішування робочий крок на ділянці транспортування буде меншим за максимальний. Для поліпшення змішування корму, в зоні накопичення і змішування корму крок гвинта повинен бути більший за робочий але меншим за максимальний. Тому тангенс кута гвинтової лінії спіралі при транспортуванні повинен бути дещо меншим тангенса кута тертя корму:

$$\operatorname{tg}(\phi) = \frac{s}{2\pi \cdot (R - r - r_{\Delta})} < \operatorname{tg}(\phi_{\max}), \text{ або } s < \operatorname{tg}(\phi_{\max}) \cdot 2\pi \cdot (R - r - r_{\Delta}), \quad (2.10)$$

За умовою зростання продуктивності, тангенс кута гвинтової лінії спіралі наближається до значення тангенса кута тертя корму. Однак, кутовий запас повинен бути досить значним для запобігання блокування транспортування через перенасичення корму в поперечному перерізі при зміні тертя від коливань вологості корму і при зміні його складу. При цьому, збільшення кроку гвинта спіралі сприятиме пересипанню корму між витками, що знизить значення  $k_q$ .

З умови балансу (рівності об'ємних подач корму, кг/с) продуктивність завантаження змішувального пристрою буде відповідати продуктивності транспортування конвеєра. У разі якщо продуктивність транспортування менша продуктивності завантаження, відбудеться накопичення корму під місцем завантаження. Як тільки підвищиться рівень корму в кожусі конвеєра,

відповідно збільшиться ступінь заповнення кожуха і підвищиться продуктивність транспортування.

При накопиченні корму в зоні завантаження буде відбуватися його осипання під динамічним кутом обвалення  $\alpha$ . Зі збільшенням висоти шару корму під місцем завантаження, будуть поліпшуватися умови захоплення частинок корму спіраллю (підвищиться ступінь заповнення кожуха, а тому збільшиться продуктивність транспортування).

## **2.5 Висновки по розділу 2.**

В результаті проведеного дослідження:

1. Обґрунтовано структурно-функціональну схему сумішоутворення концентрованих кормів
2. Проведено удосконалення конструкції змішувального агрегату
3. Отримано аналітичні залежності, які дозволять розраховувати конструкційні параметри гвинтових транспортерів-змішувачів для заданих фізико-механічних параметрів транспортованого матеріалу і визначати при цьому технологічні показники процесу транспортування.

## РОЗДІЛ 3

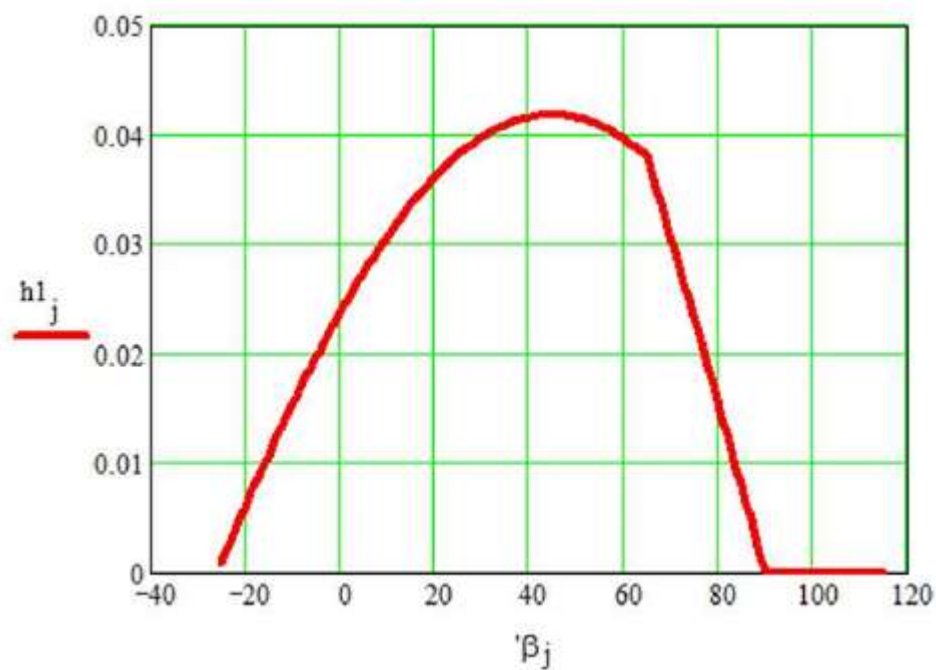
### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Результати чисельного моделювання взаємодії прутка спірально-гвинтового робочого органу змішувача з кормом

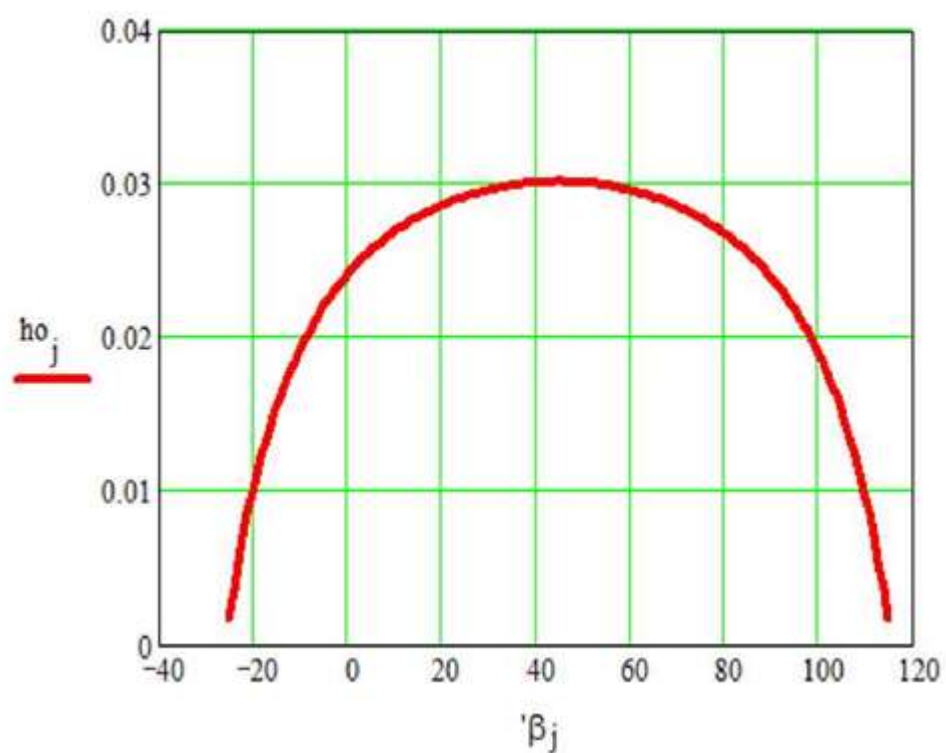
В процесі чисельного моделювання роботи спірально-гвинтового робочого органу проведений розрахунок його показників за формулами, наведеними в 2 розділу. Як приклад наведено графічні залежності показників результатів розрахунку при продуктивності змішувача 0,82 кг/с. Центральний кут заповнення матеріалом кожуха становить  $\gamma=141^\circ$ , що відповідає ступеню заповнення 0,27. Координати розміщення купи суміші корму:  $\beta_0=26^\circ$ ;  $\beta_1=116^\circ$ ;  $\beta_2=64^\circ$ ;  $\alpha=45^\circ$ ;  $\gamma_0=31^\circ$ .

В процесі моделювання встановлені графічні залежності висоти кормосуміш радіальної і вертикальної складової в залежності від кута  $\varphi=\beta_j$  положення гвинта спіралі. По краях сегмента радіальна  $h_0$  і вертикальна  $h_1$  висоти корму мінімальні, а в середній частині площини є суттєвий приріст. Висота площини поперечного перерізу шару суміші корму  $h_2$  залежить лише від координати ( $i=1\dots\gamma_0$ ) розміщення шуканого перетину площини.

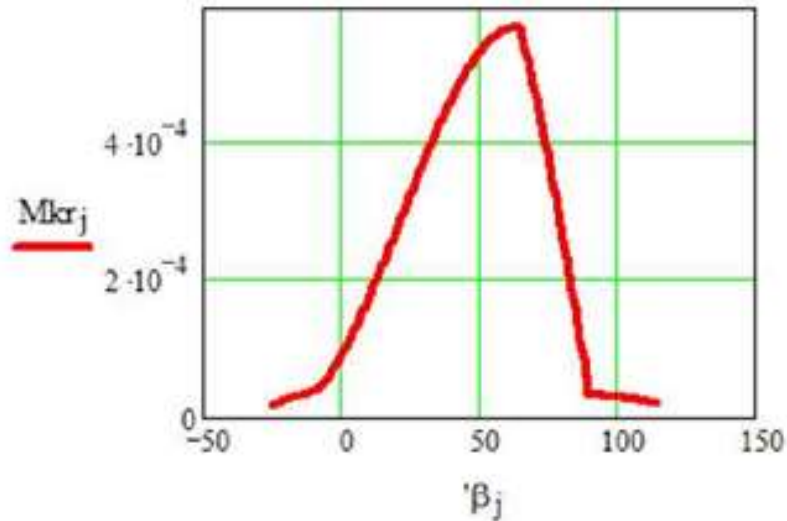
Аналогічним чином встановлені графічні залежності діючих сил і крутного моменту від кута ( $\varphi=\beta_j$ ) положення гвинта спіралі. За винятком відцентрової сили, інші сили залежать від координати положення прутка, відповідно від висоти шару корму. Відцентрова сила залежить від координати ущільненого конусоподібного шару суміші щодо прутка, так як обертається тільки ущільнений шар, а інші складові пересипаються відносно нього.



**Рисунок 3.1 – Графічна залежність зміни висоти матеріалу суміші  $h_1$  при повороті ( $\varphi=\beta_j$ ) прутка спірально-гвинтового робочого органу, м**

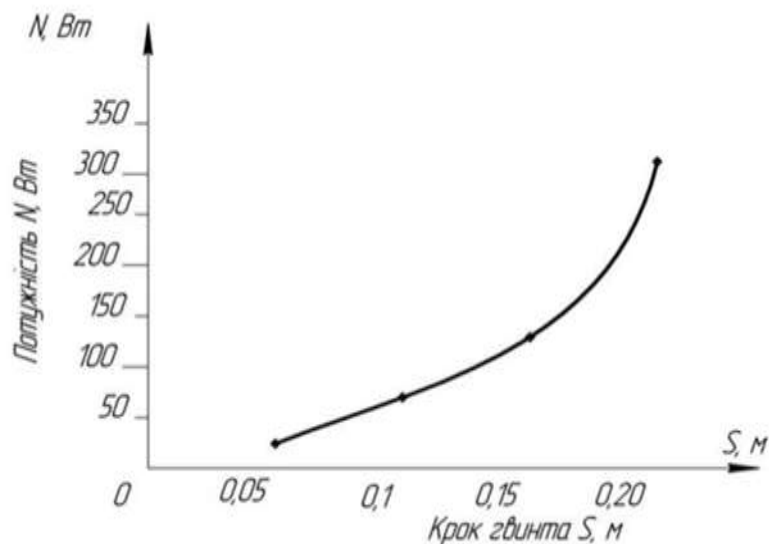


**Рисунок 3.2 – Графічна залежність зміни висоти матеріалу суміші  $h_0$  при повороті ( $\varphi=\beta_j$ ) прутка спірально-гвинтового робочого органу, м**



**Рисунок 3.3 – Крутний момент на валу спіралі в залежності від положення прутка спіралі при  $\varphi = \beta_j$**

Розраховані значення споживаної потужності на привід гвинтового конвеєра змішувача кормів при різних значеннях кроку самого гвинта з врахуванням емпіричного коефіцієнта  $k_p$ , що враховує пересипання кормосуміші при змішуванні і транспортуванні. Результати розрахунків подані на рис.3.4.



**Рисунок 3.4 - Графік залежності зміни потужності ( $N$ ) на привід шнека змішувача кормів від зміни кроку гвинта  $S$  (м) з врахуванням коефіцієнта  $k_p$**

## ВИСНОВКИ

1. На підставі проведеного аналізу конструкцій змішувального обладнання, технологій виготовлення комбікормів і відповідних наукових праць, та проведених власних досліджень обґрунтували структурно-функціональну схему змішування концентрованих кормів.

2. Удосконалили конструкцію змішувача комбікормів з комбінованими спіралью-гвинтовими робочими органами, що забезпечує зниження питомих енерговитрат на приготування суміші на 78% за рахунок заміни змішувача періодичної дії на агрегат, в основі якого застосовується безперервне змішування.

3. Аналітично виявлені закономірності впливу конструкційних і кінематичних параметрів комбінованих робочих органів живильника і змішувача концентрованих кормів на продуктивність, потужність приводу робочого органу і питомі енерговитрати на змішування концентрованих кормів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабичев А. П., Бабичев И.П. Основы вибрационной технологии. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 1999. 620 с.
2. Гвоздев В. О. Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів швидкохідного гвинтового змішувача кормів. Глеваха, 2008. 193 с.
3. Гевко І. Б. Гвинтові транспортно–технологічні механізми: розрахунок і конструювання. – Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. – 307 с.
4. 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).
5. 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).
6. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. / А.М. Григорьев – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
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. Кравчук В. І., Луценко М. М., Мечта М. П. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів: науково-практичний посібник / – Київ : Фенікс, 2008. – 104 с.
11. Красников В.В. Подъемно-транспортные машины / В.В. Красников. - М.: Агропромиздат, 1987.-270 с.
12. Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Колос, 1978. – 240 с.
13. Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов: справочник часть 2. / И.В. Кулаковский, Ф.С. Кирпичников, И.Е. Резник. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 285 с.
14. Лисовенко А.Т., Литовченко И. Н., Зирнис И. В. Смесительные машины в хлебопекарной и кондитерской промышленности. К.: Урожай, 1990. 192 с.
15. Машины та обладнання для тваринництва: посібник-практикум / [Ревенко І. І. та ін.]. – Київ : Кондор, 2011. – 396 с.
16. Машины та обладнання для тваринництва. Підручник: / І. І. Ревенко, М. В. Брагінець, В.С. Хмельовський і інші;. – К.: ЦП «Компринт», – 2018. –567 с.
17. 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.
18. МАШИНИ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТВАРИННИЦТВА Електронний підручник режим доступу <http://rodak.if.ua/mot/authors.htm> (дата звернення: 1.10.2020)
19. Оборудование для комбикормового производства // Комбикорма. – 2005. – № 8. – С. 32-33.
20. Основи перспективних технологій виробництва продукції тваринництва [Г.М. Калетнік, М.Ф. Кулик, В.Ф. Петриченко та ін.]; - Вінниця: «Енозіс», 2007. - 584 с.
21. Ревенко І.І., Щербак В.М., Побігун А.М. Машины та обладнання для тваринництва: практикум. – Мелітополь: ТОВ “Видавничий будинок”, 2010. – 155 с.

22. Сыроватка В. И., Рыжов С. Оборудование и технические средства для приготовления комбикормов. Комбикормовая промышленность. 1997. №5. С.

23. 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.

24. Цуркан О. В. Розробка та дослідження енергоощадного вібраційного змішувача для внесення преміксів в комбікорми. Харків, 2004. С. 192—205.

25. <https://artmash.ua/article/prigotovlenie-kombikorma-kak-obespechit-odnorodnost-smeshivaniya-premiksov-bmvd> (дата звернення: 1.10.2020).