

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 631.363

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

БЕЗСМЕРТНИЙ Олексій Володимирович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗМІШУВАЧА СИПКИХ
КОМПОНЕНТІВ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

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

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., доцент О. В. Медведський

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Безсмертний О. В. **Удосконалення конструкції змішувача сипких компонентів.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота подається на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025 р.

Кваліфікаційна робота спрямована на пошук рішень покращення технологічного процесу змішування сухих компонентів. Порівняльний структурний аналіз обладнання вказав на суттєві переваги потокових змішувачів порівняно із порційними.

Запропонована удосконалена конструкція змішувача із комбінованим робочим органом, який складається із двох полосових протилежно спрямованих шнеків різної подачі. Таке рішення вперше застосовується до потокових змішувачів, та має суттєві переваги щодо якості отриманої суміші.

Встановлено основні геометричні параметри комбінованого шнека та кінематичні режими роботи. Виконані розрахунки вказують на економічну доцільність використання у виробництві удосконаленого змішувача.

Ключові слова: продуктивність, кінематика, потокова схема

ANNOTATION

Bezsmertnyi O. V. **Improving the design of a mixer for loose components.** – Qualification work in the form of a manuscript.

The qualification work is submitted for the first degree of bachelor in specialty 208 – agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work is aimed at finding solutions to improve the technological process of mixing dry components. Comparative structural analysis of the equipment indicated significant advantages of flow mixers compared to batch mixers.

An improved design of a mixer with a combined working body is proposed, which consists of two strip counter-directional screws of different feeds. Such a solution is applied to flow mixers for the first time, and has significant advantages in terms of the quality of the resulting mixture.

The main geometric parameters of the combined screw and kinematic operating modes are established. The calculations performed indicate the economic feasibility of using the improved mixer in production.

Keywords: productivity, kinematics, flow chart

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ КОМПОНЕНТІВ	7
1.1. Особливості реалізації технологічного процесу змішування компонентів	7
1.2. Оцінка технічних засобів змішування сипких компонентів	10
1.3. Шляхи покращення ефективності технічних пристроїв змішування сипких компонентів	17
Висновки до розділу 1	18
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЗМІШУВАЧА СИПКОГО МАТЕРІАЛУ	19
2.1. Розроблення конструкції робочого органа для змішування сипких компонентів	19
2.2. Технологічний розрахунок розробленого робочого органу для змішування сипких компонентів	22
2.3. Визначення параметрів кінематичної схеми приводної системи робочих органів	25
2.4. Встановлення умов на міцність елементів системи приводу	28
Висновки до розділу 2	29
РОЗДІЛ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПЕРЕМІШУВАЧА СИПКИХ КОМПОНЕНТІВ	30
3.1. Вимоги до використання у виробництві розробленого пристрою	30
3.2. Порівняльна характеристика розробленого змішувача сипких компонентів	31
Висновки до розділу 3	33
ВИСНОВКИ	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35
ДОДАТКИ	37

ВСТУП

Актуальність теми. Галузі сільського господарства задіяні у забезпеченні продовольчої безпеки країни. Це не тільки продукція рослинництва, як основного експортного продукту на світовому зерновому ринку, а й продукція тваринництва. Виробництво продукції тваринництва має забезпечити населення країни необхідними продуктами харчування – м'ясо, молоко, курині яйця і ін., а переробну промисловість сировиною.

Важливим у галузях тваринництва та птахівництва агропромислового комплексу є підтримання продуктивного потенціалу тварин та птахів. Досягнути високих результатів не можливо без повноцінної годівлі тварин та птахів. З метою забезпечення повноцінної годівлі складаються відповідні раціони до яких входять різноманітні компоненти. За умови сухого типу годівлі свиней чи як додатковий компонент у кормовій сумішці формуються повноцінні збалансовані за поживністю та корисністю комбікорми. Комбікорми можуть бути як в розсипному так і у гранульованому вигляді. Для перемішування складників які входять у рецептуру комбікорму використовують технічні засоби під назвою змішувачі.

До складу комбікормів або повноцінних кормових сухих сумішок входять різні складники які можуть відрізнятись за своїми фізико-механічними властивостями. Як правило, комбікорм складається із подрібненого зерна злакових та бобових культур із додаванням преміксів та різноманітних мінеральних добавок. Якісне перемішування цих компонентів необхідне для рівномірного розподілення кожного компонента в заданому об'ємі, особливо якщо це стосується гранульованого типу комбікорму. Для задоволення потреб комбікового виробництва на ринку пропонуються технічні засоби, які можуть відрізнятись як за способом реалізації технологічного процесу так і за конструкцією робочого органу. При цьому, позитивною характеристикою яка береться до уваги є рівномірність змішування та продуктивність. Не всі представлені машини мають раціональне поєднання позитивних ознак. Так одні кращі за якістю утворення сумішки а інші мають вищу продуктивність але

менш якісно працюють щодо сумішоутворення. Тому, пошук технічного рішення оптимального за продуктивністю і якістю отримання суміші сухих компонентів є актуальним та необхідним завданням.

Мета та завдання дослідження.

Мета роботи кваліфікаційної спрямована на підвищення ефективності змішувачів сипких компонентів шляхом удосконалення конструкції робочого органу.

Задачі які необхідно вирішити:

- провести аналіз технологічних процесів утворення сумішки сухих компонентів;
- дослідження конструкцій та технологічних параметрів відомих змішувачів сипких компонентів;
- встановити шляхи удосконалення змішувача сухих компонентів неперервного принципу дії;
- виконати технологічні та конструкційні розрахунки для встановлення геометричних та кінематичних параметрів перемішувача сухих компонентів;
- встановити експлуатаційні показники та режими роботи удосконаленого змішувача сухих компонентів.

Об'єкт досліджень – змішувач сухих компонентів неперервної дії із гвинтовим робочим пристроєм.

Предмет досліджень – технологічні та конструкційні параметри змішувача сухих інгредієнтів комбікорму.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених у кваліфікаційній роботі задач використовували діючі положення теорії машин та механізмів, механіки матеріалів, основ реології та гідродинаміки, методи як аналітичного так і фізичного моделювання технологічних процесів. Використання відомих методик опору матеріалів та деталей машин. Для виконання розрахунків використовували доступні програмні продукти Microsoft.

Апробація результатів роботи. Отримані у кваліфікаційній роботі результати проектування доповідались на науково-практичних конференціях та знайшли відображення у наступних друкованих наукових працях:

1. Безсмертний О. В. Класифікаційні ознаки змішувачів компонентів. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2. С. 3–5.

2. Безсмертний О. В. Розроблення конструкції робочого органу змішувача компонентів. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 7–9.

Структура та обсяг роботи. У своєму складі кваліфікаційна робота має вступ, три розділи теоретичної частини, загальні висновки, список використаних літературних джерел, додатки. Робота виконана державною мовою комп'ютерним набором сукупним обсягом 36 сторінок основної частини, містить 10 рисунків та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ КОМПОНЕНТІВ

1.1. Особливості реалізації технологічного процесу змішування компонентів

Змішування компонентів для отримання суміші є складним механічним процесом. В загальному процес отримання суміші можна пояснити за допомогою рис. 1.1 [1, 2].

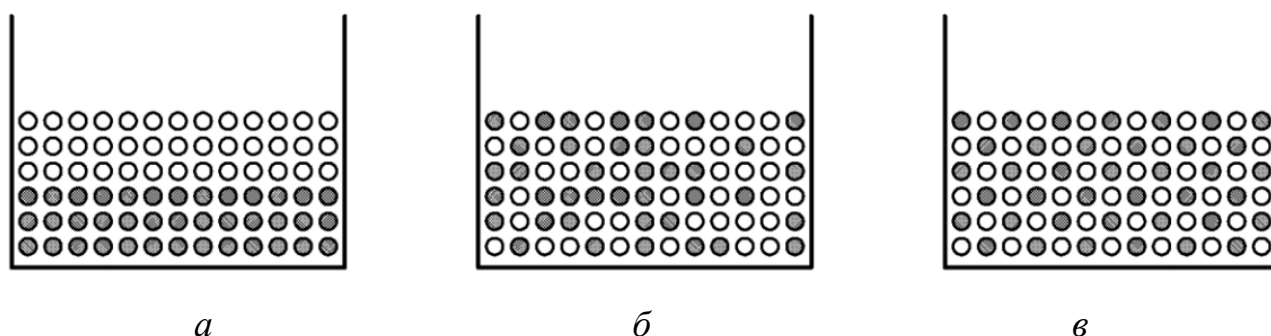


Рис. 1.1. Етапи отримання суміші сухих компонентів: *a* – початковий стан двох складових; *б* – переміщення складових під час технологічного процесу; *в* – кінцевий стан перемішування складових (ідеальний варіант)

Перемішування компонентів у однорідну суміш є важливим технологічним процесом, особливо при виготовленні комбікорму. Комбікорм складається із подрібнених злакових та бобових зернових із додаванням преміксів, білково-вітамінних та мінеральних добавок. Однорідність отриманої суміші визначає рівномірний розподіл усіх компонентів в одиниці об'єму готової суміші. Особливо це важливо при використанні компонентів із невеликим вмістом деяких складників відповідно до прийнятих рецептів (табл. 1.1) на виробництві. Так, при згодовуванні комбікорму із рівномірним розподілом складників тварина споживає усі необхідні компоненти що сприяє

підвищенню продуктивності корови на 4,5-13,5% з одночасною економією основних кормів раціону [1]. В той же час нерівномірний розподіл компонентів по об'єму призведе до недоотримання твариною необхідних корисних та поживних речовин, що може спричинити неповну продуктивності тварин та можливе захворювання. Так, відхилення від правильності співвідношення різноманітних мінералів та вітамінів призводить до зниження інтенсивності приросту свиней на 30-35% з одночасною перевитратою на 50% кормів основного раціону з розрахунку на 1 кг приростів. За умови отримання збалансованого по об'єму комбікорму при правильному співвідношенні компонентів можна очікувати збільшення продуктивності тварин на відгодівлі на 15-20% [1, 3].

Таблиця 1.1.

Вміст компонентів у структурі комбікорму [4]

Компонент	Вміст, %		
	Рецепт 1	Рецепт 2	Рецепт 3
Ячмінь	30	25	25
Пшениця	26,5	25	29,5
Кукурудза	15	25	25
Соєва макуха	21	15	6
Соняшникова макуха	2,5	7	12
Премікс статер	5		
Премікс гровер		3	
Премікс фінішер			2,5

Відповідно до вимог комбікормового виробництва відхилення від вмісту компонента у одиниці об'єму суміші залежить від кількості компоненту у рецептурі. Так при вмісті компонента до 30% відхилення допускається $\pm 1\%$, а при вмісті менше ніж 3% допустиме відхилення складає $\pm 0,1\%$ [1, 5].

Ефективність технологічного процесу отримання суміші сухих компонентів визначається рівномірністю змішування, яка в свою чергу

залежить від тривалості проведення технологічної операції перемішування компонентів у загальному об'ємі (рис. 1.2).

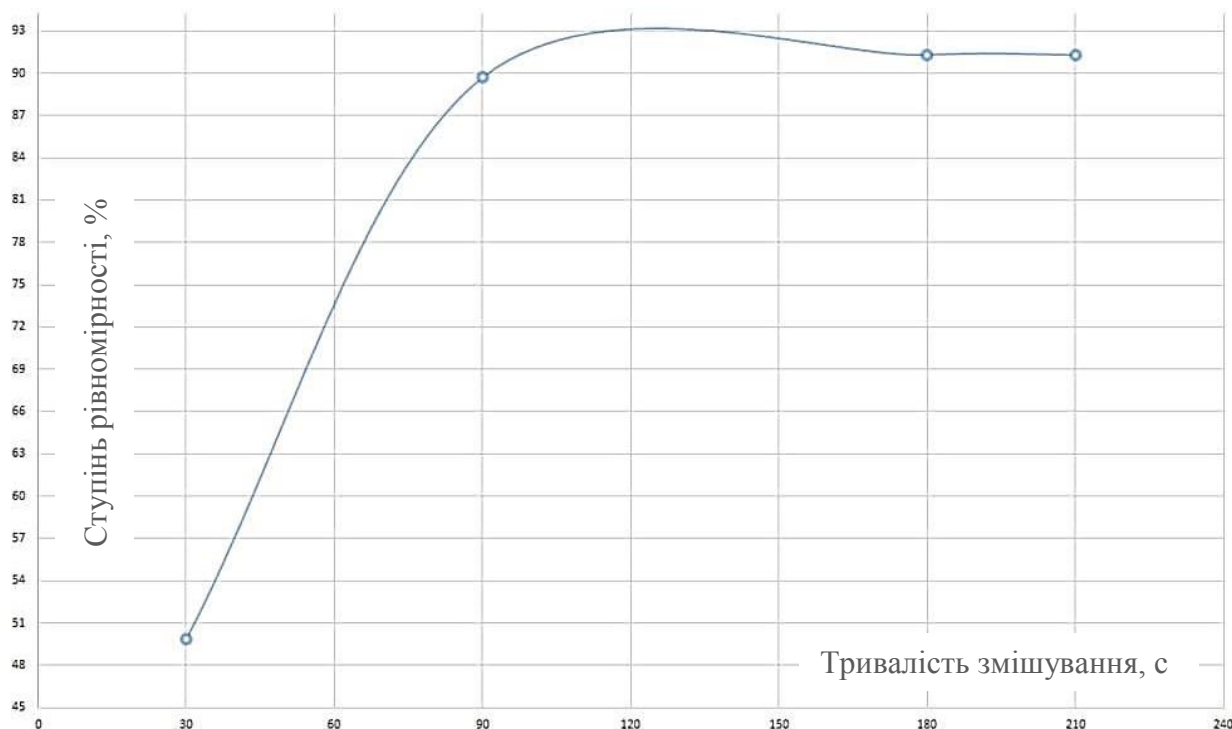


Рис. 1.2. Залежність ступеня однорідності змішування від тривалості процесу сумішоутворення [1, 3]

Відповідно до аналізу рис. 1.2 можна сказати, що зі збільшенням тривалості технологічної операції якість перемішування сухих компонентів зростає. Відповідно до даних [2, 3, 5] задовільною вважається якість комбікорму якщо ступінь однорідності суміші становить більше ніж 90%. Як видно із рисунка такий рівень однорідності досягається, як правило, вже через 1,5 хвилин. Проте при збільшенні тривалості процесу перемішування ступінь однорідності розподілу складників по об'єму зростає до 94% на 130 секунд і дещо знижується до 92% через трьох хвилин тривалості процесу перемішування. Зменшення показника спричинене тимчасовим процесом утворення злипань складників однакових за розміром, але це негативне явище з часом зникає і на третій хвилині маємо однорідність стабільну. Це вказує на те, що варто припиняти процес перемішування оскільки вже маємо максимальну для даного процесу однорідну суміш.

Якість отриманого комбікорму можна встановити за отриманим варіаційним коефіцієнтом. Варіаційний коефіцієнт визначає ступінь неоднорідності отриманої суміші сухих компонентів в заданому об'ємі, тобто протилежна величина до однорідності [3, 6, 7]:

$$v_c = 10^{-2} \cdot C_0 \left[\frac{\sum (C_i - C_0)}{m-1} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (1.1)$$

де C_i – фактичне значення вмісту компонента у суміші, %;

C_0 – середнє значення вмісту компонента у суміші, %;

m – кількість виконаних вимірів.

За допомогою формули (1.1) можна встановити ступінь неоднорідності перемішування компонентів в заданій сумішці. Зрозуміло, чим менше значення отримане тим кращою однорідністю наділена суміш складових сухих компонентів. У більшості випадків варіаційний коефіцієнт не повинен перевищувати 10% [7, 8].

1.2. Оцінка технічних засобів змішування сипких компонентів

Виконання технологічного процесу не можливе без використання технічної системи, яка називається змішувачем компонентів. В нашому випадку необхідно проаналізувати конструкційні та технологічні особливості пристроїв для змішування сухих компонентів з метою визначення найкращого варіанта для подальшого удосконалення. Усі засоби для змішування поділені за певними ознаками як конструкційними так і технологічними і відображені на рис. 1.3 [8, 9].

Відповідно до представленої класифікації пристроїв для змішування компонентів утворити суміш заданої якості можна технічними системами котрі

відрізняються як за призначенням так і за способом реалізації технологічного процесу.

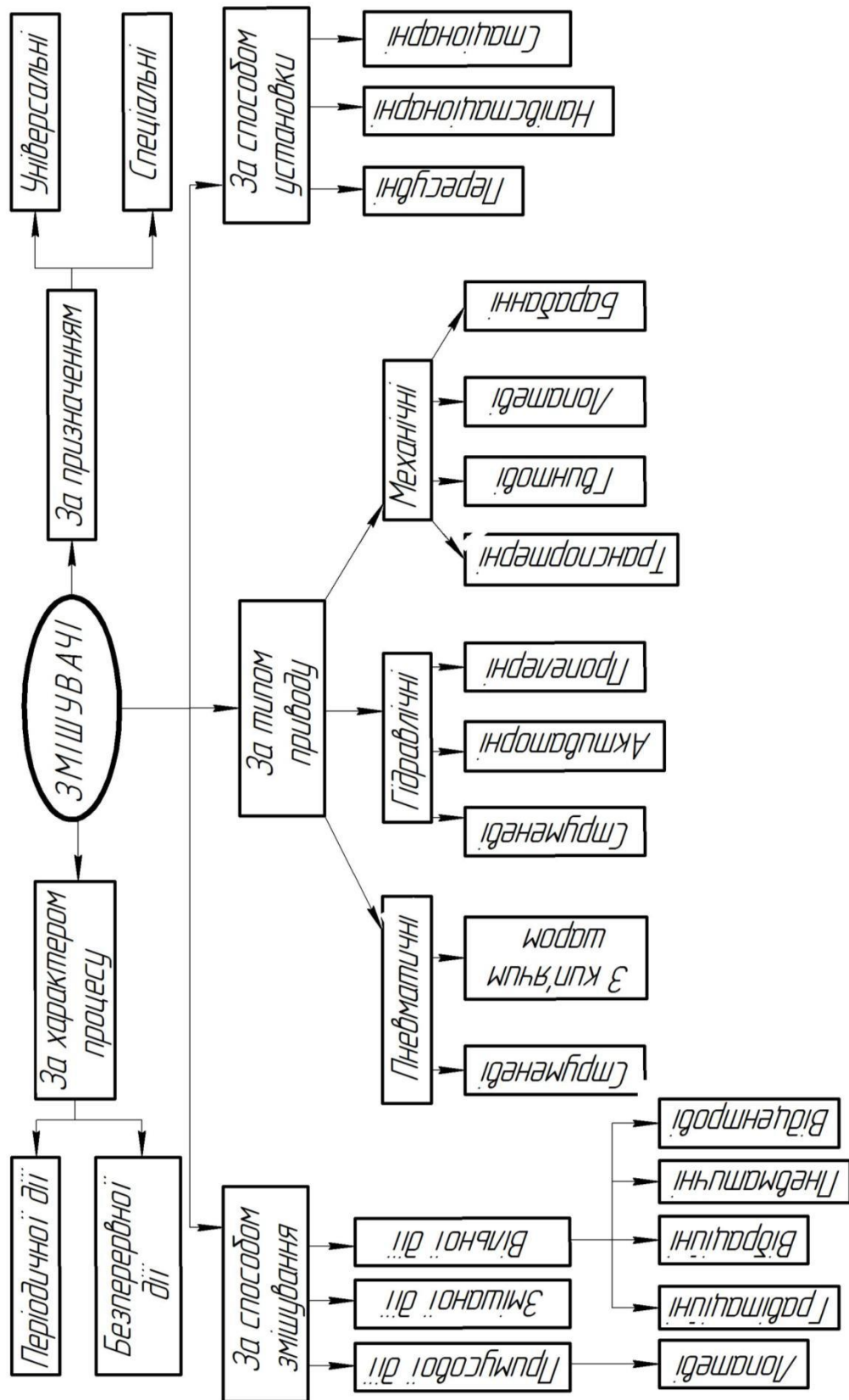


Рис. 1.3. Різновидність пристроїв для отримання суміші [8]

Широкого поширення у виробництві сухих сумішок набули змішувачі як потокового так і періодичного способу реалізації технологічного процесу утворення сумішки. При цьому для реалізації процесу перемішування можуть використовуватися різноманітні за конструкційним виконанням робочі органи та механізми їх приводу [9].

За твердженням [8] для приготування суміші сипких складових доцільно використовувати пристрої вертикального типу (рис. 1.4). До переваг такого типу пристроїв автори відносять можливість легкого адаптування до технологічних ліній на комбікормовому виробництві, незначна вартість та простота обслуговування та експлуатації [8, 10]. До групи вертикальних перемішувачів сухих компонентів відноситься



Рис. 1.4. Змішувач вертикальний KC-1000 виробництва «TSM AGRO» (м. Черкаси, Україна) [11]

Робочими органами для змішування у змішувача KC-1000 є два вертикальних шнеки які переміщують компоненти у вертикальному напрямку вгору. Потім компоненти під дією сил гравітації опускаються донизу і знову підхоплюються шнеками рухаються вверх. В процесі переміщення відбувається

перемішування сухих складових. Вартість такого перемішувача складає 58400 грн [11] що досить прийнятно для невеликих господарств для разового отримання комбікорму об'ємом 1,5 м³. Проте деякі дослідники відзначають основні недоліки перемішувачів вертикального типу. В першу чергу це неможливість отримати суміш комбікорму із ступенем рівномірності вищим за 85-90%. Окрім цього, відзначається висока тривалість приготування суміші – 15-20 хв [12], що неприйнятно для промислового виробництва.

Широкого поширення, навіть можна сказати про переважне використання, набули перемішувальні системи порційної дії. Принцип роботи полягає у приготуванні заданої порції сумішки сухих компонентів у обмеженому об'ємі.

Представником групи порційних перемішувачів можна виділити вітчизняне обладнання науково-виробничого об'єднання ТОВ «АГРО-СІМО-МАШБУД» (рис. 1.5) [13].

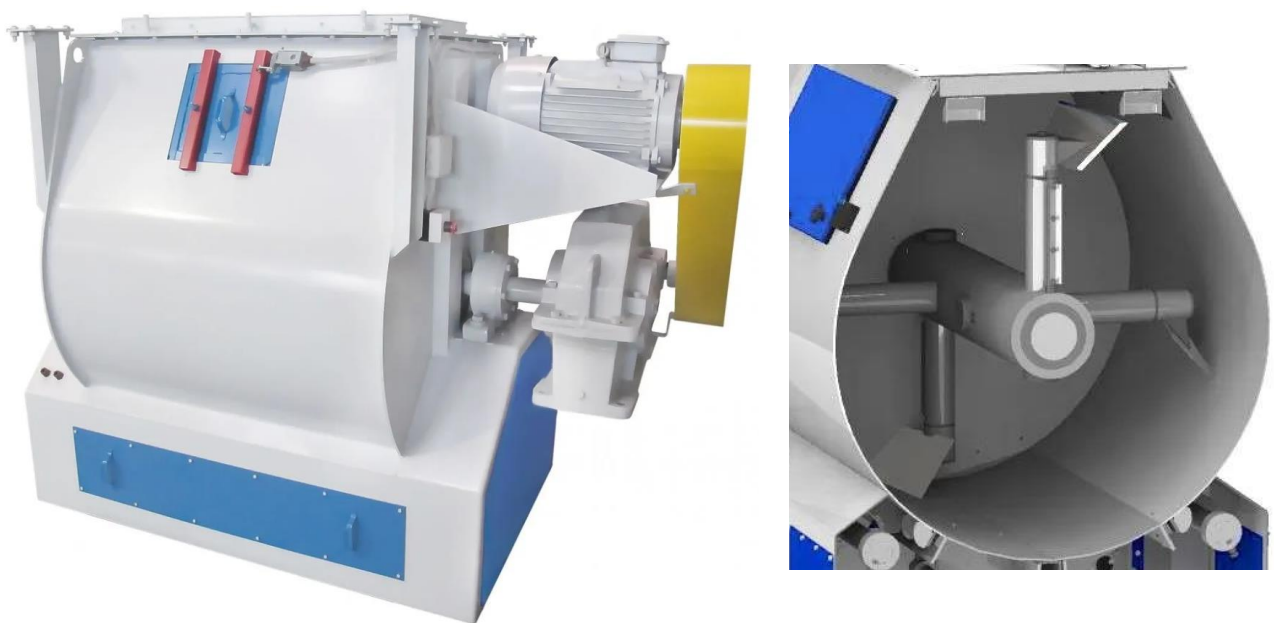


Рис. 1.5. Змішувач компонентів Н-ЗСЛ-1000 виробництва ТОВ «АГРО-СІМО-МАШБУД» (м. Одеса, Україна) [13].

Змішувач Н-ЗСЛ-1000 (рис. 1.5) використовується для перемішування сухих компонентів вологістю 13-14% для отримання комбікорму. Основним

робочим органом є перемішувач лопатевого типу, причому лопаті розміщені за спіральною лінією. Для підвищення ефективності змішування можна змінювати кут встановлення лопатей. Завдяки конструкції робочого органу, який може захоплювати компоненти із дна корпуса, можна перемішувати невеликі порції від 15% загального об'єму корпуса.

До безперечних переваг лопатевого змішувача порційної дії Н-ЗСЛ-1000 належить високий рівень однорідності отриманої суміші сухих компонентів до 95-98% та прийнятний час технологічного процесу разового перемішування в межах 3-5 хв [13]. При цьому в процесі перемішування можна додавати і рідкі компоненти в кількості до 7% від маси, що позитивно впливає на розширення номенклатури рецептур приготування комбікорму.

Незважаючи на переваги перемішувача порційної дії щодо якості отриманої суміші сухих компонентів, слід відзначити значно більшу потужність на привод робочого органу – 18,5 кВт порівняно із 2,2 кВт у вертикального перемішувача. Окрім цього, значну вагу перемішувача Н-ЗСЛ-1000 (1900 кг), порівняно із КС-1000 (260 кг) ставить виробника перед вибором. Вибір в першу чергу стосується виробників комбікорму у невеликих об'ємах для задоволення власних потреб господарства чи групи господарств однієї корпорації. Для промислових виробників комбікорму звичайно значна вартість такого змішувача може перекриватися значними обсягами виробництва та високою якістю отриманої продукції. Безперечною перевагою змішувача Н-ЗСЛ-1000 є вдвічі вища продуктивність (500 кг за 3-5 хв, тобто майже 6 т/год), порівняно із КС-1000 (1000 кг за 15-20 хв., тобто майже 3 т/год).

Проте експлуатаційна продуктивність порційних перемішувачів буде меншою від вказаних значень. Це можна пояснити тим, що витрачається час на завантаження та розвантаження. Таким чином, чим швидше буде процес завантаження та розвантаження тим вищою буде експлуатаційна продуктивність. Так, у обладнання Н-ЗСЛ-1000 на завантаження та розвантаження витрачається по 0,5 хв., що може зменшити продуктивність на 1000 кг/год.

Для зменшення потужності на привод промисловість пропонує до комбікормового виробництва порційної дії змішувачі зі шнековими робочими органами у вигляді спіральної стрічки (рис. 1.6).

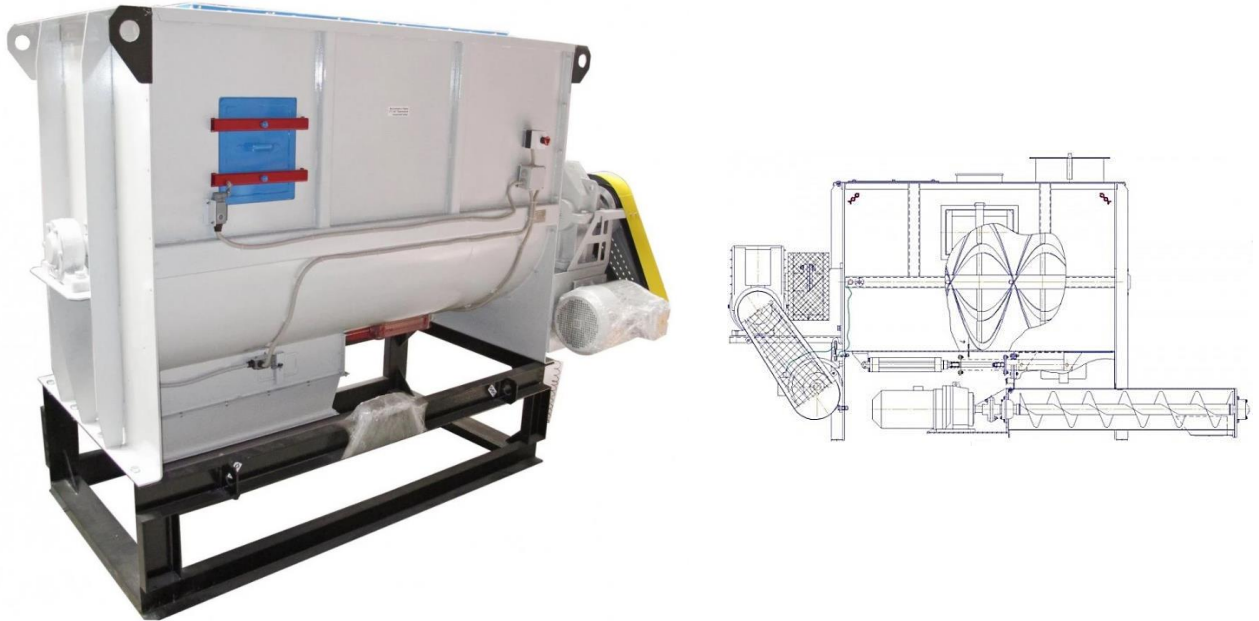


Рис. 1.6. Змішувач ЗМХ-1000 виробництва АТ «Хорольський механічний завод» (м. Хорол, Україна) [14]

Порційний перемішувач сухих компонентів ЗМХ-1000 також використовують для виробництва комбікорму на промислових підприємствах. Порівняно із лопатевим обладнанням Н-ЗСЛ-1000, машина ЗМХ-1000 за однакової порції разового приготування (1 м^3) має меншу потужність приводу робочого органу, яка становить 5,5 кВт, та меншу вартість – 73400 грн [14]. Проте за рахунок меншої продуктивності системи вивантаження, яка становить 1,5-3 хв. експлуатаційна продуктивність обладнання вдвічі менша і становить 3 т/год при тривалості процесу 4-5 хв. Основною перевагою такого обладнання можна вважати високу однорідність отриманої суміші яка становить 95-96% [14], що вище від допустимих вимог у комбікормовому виробництві.

До групи потокових змішувачів які працюють за неперервною схемою належить обладнання ЗК-2 (рис. 1.7). Неперервна схема роботи полягає в тому,

що процеси завантаження, перемішування складників та вивантаження готової суміші відбувається одночасно.



Рис. 1.7. Потоковий змішувач ЗК-2 виробництва ТОВ «АртМаш» (м. Жмеринка, Україна) [15]

В якості робочих органів використовується два лопатевих вала. За рахунок можливості зміни куту нахилу лопатей можна змінювати продуктивність процесу перемішування сухих компонентів. Такого типу обладнання експлуатується при завантаженні на 30-40%, оскільки зі збільшенням ступені навантаження зростають витрати енергії на перемішування. За оптимальних умов завантаження потужність приводу становить 7,5 кВт, що більше ніж у обладнання ЗМХ-1000 при збільшеній до 15 т/год продуктивності. Саме вища продуктивність потокових змішувачів вважається головною перевагою перед іншими типами змішувачів. Проте, однорідність процесу отримання суміші сипких компонентів не перевищує 90-92%, що менше порівняно із змішувачами порційного виконання. Але за рахунок високої продуктивності та вимогам допустимої однорідності приготування комбікорму для свиней на рівні 90%, обладнання потокового принципу дії має попит на ринку.

1.3. Шляхи покращення ефективності технічних пристроїв змішування сипких компонентів

Порівняльний аналіз обладнання для перемішування сухих компонентів за основними показниками, які відрізняються способом організації технологічного процесу, з врахуванням досліджень [16] подано на рис. 1.8.

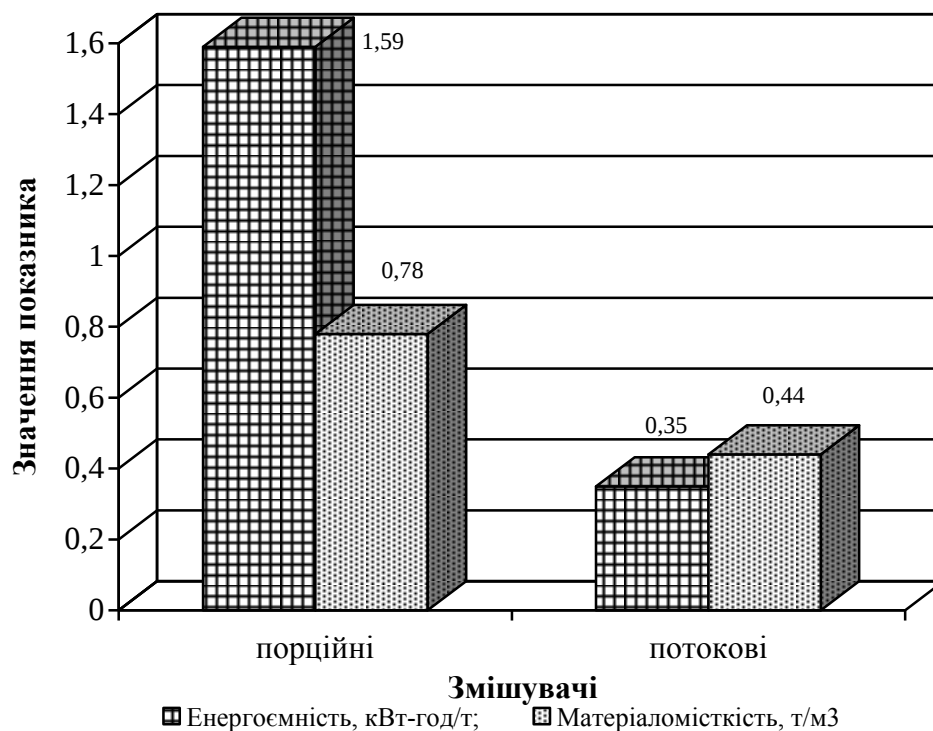


Рис. 1.7. Середні зважені значення питомих витрат енергії на одиницю продуктивності та матеріалів на одиницю корисного об'єму обладнання порційного та потокового типу

Відповідно до рис. 1.7, можна з впевненістю сказати що найкращими з точки зору питомих витрат енергії на приготування однієї тони сумішки є змішувачі потокового принципу організації технологічного процесу. Це походить з того, що обладнання потокового типу має вищу продуктивність при меншій потужності електродвигуна який використовується на привод робочих органів. За показником витрати матеріалів у готовій конструкції змішувачів, потокові машини мають перевагу у 56% порівняно із обладнанням порційного принципу дії. Зважаючи на вищесказане можна зробити висновок що

обладнання потокового типу має більше привабливих сторін порівняно із обладнанням порційного принципу.

Незважаючи на деякі переваги обладнання потокового типу варто зауважити, що рівень однорідності отриманої суміші поступається обладнанню порційної дії. Все це вказує на те, що є потреба в удосконаленні змішувача сухих компонентів для максимального використання позитивних ознак обладнання обох принципів реалізації технологічного процесу.

Висновки до розділу 1

1. Отримання сумішки із сухих складових, наприклад у комбікормовому виробництві, є складним технологічним процесом який потребує дотримання вимог встановлених діючими стандартами. Обладнання для змішування складових які входять у рецептуру комбікорму мають забезпечити однорідність перемішування не нижчу за 90%, що досить складно забезпечити особливо при незначному вмісті певного компонента.

2. Для перемішування в однорідну суміш сухих компонентів промисловість пропонує обладнання яке відрізняється за способом реалізації технологічного процесу та типом і кількістю робочих органів. Встановлено, що змішувачі потокового принципу реалізації технологічного процесу мають найкращі показники за питомими витратами енергії на приготування суміші сухих компонентів. Тому, обладнання такого типу є більш прийнятним не зважаючи на нижчу ступінь однорідності суміші, порівняно із обладнанням порційного принципу реалізації технологічного процесу.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЗМІШУВАЧА СИПКОГО МАТЕРІАЛУ

2.1. Розроблення конструкції робочого органа для змішування сипких компонентів

Проведений аналіз конструкційних та технологічних особливостей обладнання для отримання суміші із сухих компонентів вказав на наявні позитивні та негативні сторони серійних змішувачів. Так, основною умовою отримання комбікорму високої якості є рівномірний розподіл складових компонентів по об'єму готової сумішки. Встановлено, що чим менший вміст того чи іншого складника суміші, тим важче забезпечити однорідність готового продукту.

За результатами дослідження можна сказати що найкращий показник за однорідністю отриманої сумішки належить до машин і обладнання порційного принципу організації технологічного процесу. Такий позитивний ефект досягається завдяки застосування вагового дозування складників. Відомо, що вагове дозування значно точніше за об'ємний спосіб відділення потрібної кількості компонента у кінцевій суміші. В такому випадку вартість технологічної лінії буде вищою за рахунок вищої вартості системи дозування. Окрім цього, машини порційного принципу роботи, особливо з лопатевими робочими органами, відрізняються більшими питомими витратами матеріалів на виготовлення. Тобто, отримання високої однорідності суміші сухих компонентів у порційних змішувачах з лопатевими робочими органами має основний недолік – це значно вища, порівняно із іншими типами обладнання. Проте, за умови промислового виробництва сумішок сухих компонентів змішувачі вказаного типу широко використовуються. Це пояснюється незначною тривалістю завантаження та швидким розвантаженням приготовленої суміші. Завдяки цьому досягається прийнятна, або навіть

аналогічна, продуктивність порівняно із машинами порційної дії зі шнековими робочими органами.

До групи порційних перемішувачів сухих компонентів для отримання суші з високою однорідністю належить обладнання із робочими органами у вигляді порожнистого шнека. Тобто, шнек виконано у вигляді стрічки яка кріпиться до вала за гвинтовою лінією. Такі перемішувачі сухих компонентів мають значно меншу потужність на привод порівняно із лопатевими робочими органами. Незважаючи на те, що якість перемішування дещо менша ніж у лопатевого змішувача, обладнання із стрічковим гвинтом набуло широкого поширення у лініях приготування комбікорму із сухих компонентів. Зважаючи на порційний спосіб реалізації технологічного процесу перемішування сухих компонентів, продуктивність такого обладнання визначається витратами часу на завантаження та розвантаження. Такий показник, як тривалість розвантажувально-завантажувального процесу, дещо більший ніж у лопатевого обладнання. У лопатевих перемішувачів застосовується система швидкого вивантаження (до 0,5 хв.), а у змішувача зі стрічковим гвинтом на вивантаження витрачається до 1,5 хв. Але з врахуванням меншої вартості таких перемішувачів, незважаючи на дещо меншу продуктивність, обладнання із робочими гвинтовими стрічками набуло широкого поширення у промисловому виробництві сухих сумішок – комбікорму.

Обладнання з поточним принципом реалізації технологічного процесу отримання суміші відрізняється від обладнання порційного значно вищою продуктивністю. Досягається це завдяки тому, що всі операції технологічного циклу (завантаження, перемішування та вивантаження) відбуваються одночасно у потоці. Отже, не потрібно витрачати час на задіяння окремих операцій завантаження та операцій вивантаження готової суміші. Використання потокової схеми організації технологічного процесу вимагає використання поточних дозувальних пристроїв для компонентів сухої суміші. Як відомо якість та точність дозованої подачі складників суміші дещо нижча ніж при використанні вагового принципу відмірювання необхідної порції. Відповідно і

якість отриманої суміші за показником однорідності буде нижчою порівняно із порційним обладнанням. Завдяки вищій продуктивності потокове обладнання за однакових вхідних умов має менші питомі витрати енергії на приготування одиниці суміші. Незначна однорідність отриманої суміші при виробництві комбікорму пояснюється використанням лопатевого робочого органу, який не достатньо повноцінно взаємодіє із масою матеріалу. Окрім цього, лопатевий робочий орган не дозволяє використовувати максимально робочий простір корпуса обладнання із-за обмеження по зовнішньому габариту. При збільшенні діаметра лопаті зростають витрати потужності на привод, і всяка перевага потокового обладнання зникає.

В кваліфікаційній роботі розроблено робочий орган (рис. 2.1) перемішувача сухих компонентів із залученням кращих властивостей робочих органів обладнання як порційного так і потокового принципу роботи [17].

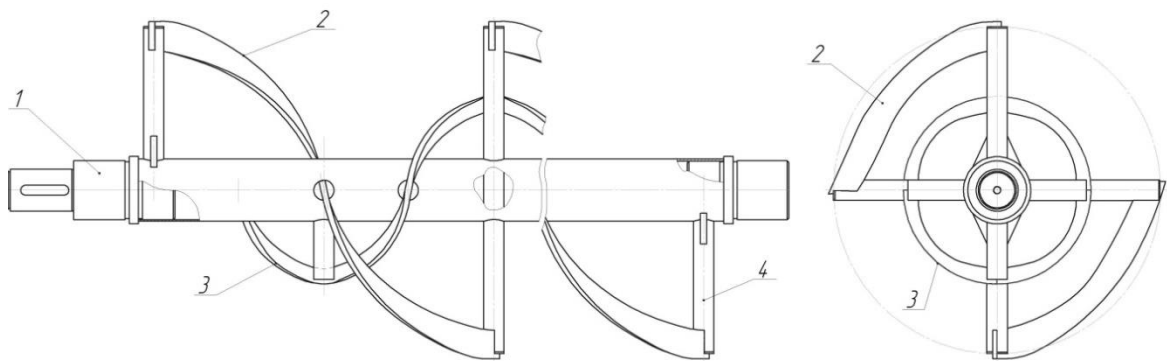


Рис. 2.1. Схема комбінованого робочого органу для змішування сухих компонентів: 1 – основа вала; 2 – зовнішня лопатева спіраль; 3 – внутрішній полосовий шнек; 4 – тримач [17]

За конструкцією розроблений комбінований робочий орган (рис. 2.1) представляє собою вдосконалену конструкцію робочого органу [16]. На відміну від прототипу представлена розробка складається із двох полосових шнеків – внутрішнього та зовнішнього змонтованих на одному валу. Причому напрямленість витків шнеків протилежна. Це зроблено для покращення процесу

перемішування. Так зовнішній шнек рухає складові сухих компонентів до зони вивантаження, а внутрішній шнек переміщує складові у протилежному напрямку. Такий принцип роботи використовується у розглянутих перемішувачах порційного способу реалізації процесів. Відзначається висока інтенсивність перемішування за рахунок протилежно-спрямованих потоків. Проте порційний спосіб роботи відзначається нижчою продуктивністю порівняно із потоковою реалізацією процесу перемішування складових у суміш. Тому, у кваліфікаційній роботі будемо розробляти змішувач потокового принципу роботи із використанням запропонованого комбінованого механізму. Для інтенсифікації процесу перемішування зовнішня спіраль шнека не утворює суцільну лінію як у гвинта шнека, а поділена на окремі півкола які будуть виконувати функцію лопаток. Тобто, крок витка шнека зміщений до опори вала на півкроку. Така конструкція сприятиме інтенсивності перемішування при реалізації потокового процесу.

2.2. Технологічний розрахунок розробленого робочого органу для змішування сипких компонентів

Розрахунок технологічний удосконаленої конструкції змішувача сипких компонентів із використанням комбінованого робочого органу виконується на основі загальноприйнятих методик які викладені у літературних джерелах [18-20] та винесені у додаток А.

Суміш сухих компонентів складається із декількох складових відповідно до прийнятої рецептури (табл. 2.1), тому визначаємо об'ємну масу отриманої суміші за формулою (2) додатка А, кг/м³:

$$\rho_k = \frac{30 \cdot 650 + 26,5 \cdot 620 + 15 \cdot 780 + 21 \cdot 360 + 2,5 \cdot 340 + 5 \cdot 450}{30 + 26,5 + 15 + 21 + 2,5 + 5} = 582,9. \quad (2.1)$$

Таким чином, об'ємна маса готової суміші сухих компонентів отримана у формулі (2.1) використовується у подальших розрахунках.

Таблиця 2.1

Структура рецепта комбікорму

Компонент	Вміст, %	Об'ємна маса, кг/м ³
Ячмінь	30	650
Пшениця	26,5	620
Кукурудза	15	780
Соева макуха	21	360
Соняшникова макуха	2,5	340
Премікс статер	5	450

При обертанні шнека складові суміші переміщаються вздовж осі зі швидкістю яка залежить від частоти обертів та геометрії конструкції – діаметра, кута нахилу витка шнека.

Крок шнека визначається за формулою (4) з додатка А, м:

- для зовнішнього шнека:

$$S_1 = 3,14 \cdot 0,4 \cdot \operatorname{tg} 36 = 0,797; \quad (2.2)$$

- для внутрішнього шнека:

$$S_2 = 3,14 \cdot 0,25 \cdot \operatorname{tg} 25 = 0,385. \quad (2.3)$$

Для подальших розрахунків приймемо $S_1=800$ мм, $S_2=400$ мм.

Інтенсивність переміщення суміші компонентів визначається за формулою (3) додатка А, м/с:

- для зовнішнього шнека:

$$v_1 = \frac{0,800 \cdot 180 \cdot 0,6}{60} = 1,44; \quad (2.4)$$

- для внутрішнього шнека:

$$\nu_2 = \frac{0,400 \cdot 180 \cdot 0,6}{60} = 0,72. \quad (2.5)$$

Подачу розробленого комбінованого змішувального органу можна визначити за формулою (1) з додатка А кг/с:

- подача зовнішнього шнека становитиме:

$$Q_1 = \frac{3,14(0,4^2 - 0,3^2)}{4} \cdot 1,44 \cdot 582,9 \cdot 0,7 = 32,28; \quad (2.6)$$

- подача зовнішнього шнека становитиме:

$$Q_2 = \frac{3,14(0,25^2 - 0,15^2)}{4} \cdot 0,72 \cdot 582,9 \cdot 1,0 = 15,18. \quad (2.7)$$

Сукупна продуктивність комбінованого змішуючого робочого органу визначається як різниця подач зовнішнього та внутрішнього шнеків з врахуванням експлуатаційного коефіцієнта та коефіцієнта технічної готовності та коефіцієнта корисної дії (ψ), кг/с:

$$Q = (Q_1 - Q_2) \psi, \quad (2.8)$$

$$Q = (32,28 - 15,18) \cdot 0,8 = 13,68.$$

Довжина робочої частини удосконаленої машини можна визначити за формулою (7) додатка А, з врахуванням різниці швидкостей переміщення зовнішнім та внутрішнім шнеком та тривалості технологічного процесу, який буде мати скорочену тривалість із-за особливості конструкції розробленого комбінованого робочого органу. За результатами розрахунків робоча довжина становитиме 3 м, а загальна тривалість процесу отримання суміші сухих компонентів не перевищуватиме 11 с.

Визначення потужності за формулою (6) додатка А враховує конструкцію потокового перемішувача сухих компонентів з розробленим комбінованим шнеком, кВт:

$$N = \frac{13,68 \cdot 3,0 \cdot 20}{367 \cdot 0,80} = 2,796. \quad (2.9)$$

Фактична потужність на привод для вибору електричного двигуна визначається за формулою (8) додатка А, кВт:

$$N_e = \frac{2,796}{0,94 \dots 0,97} = 2,88 \dots 2,97. \quad (2.10)$$

Відповідно до отриманих даних, для приводу у роботу комбінованого розробленого шнека необхідно обрати електродвигун із потужністю не менше 3 кВт. З врахуванням рекомендацій [19, 20] обираємо електродвигун АІР112МВ8У3 потужністю 3 кВт з частотою обертів – 700 об/хв.

2.3. Визначення параметрів кінематичної схеми приводної системи робочих органів

Для приводу робочого комбінованого шнека будемо використовувати клинопасову передачу, схема якої подана на рис. 2.2. Розрахунок передачі із використанням пасу здійснюється на основі загальновідомих методик [18, 19, 20] викладених у додатку Б.

За допомогою формули (2) додатка Б встановлюємо швидкість кутову обертання, с^{-1} :

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 700}{60} = 73,25. \quad (2.11)$$

З врахуванням встановленої швидкості кутової та потужності вибраного електричного двигуна визначаємо момент кратний за формулою (1) додатка Б, Н×м:

$$M_1 = \frac{3000}{73,25} = 40,95. \quad (2.12)$$

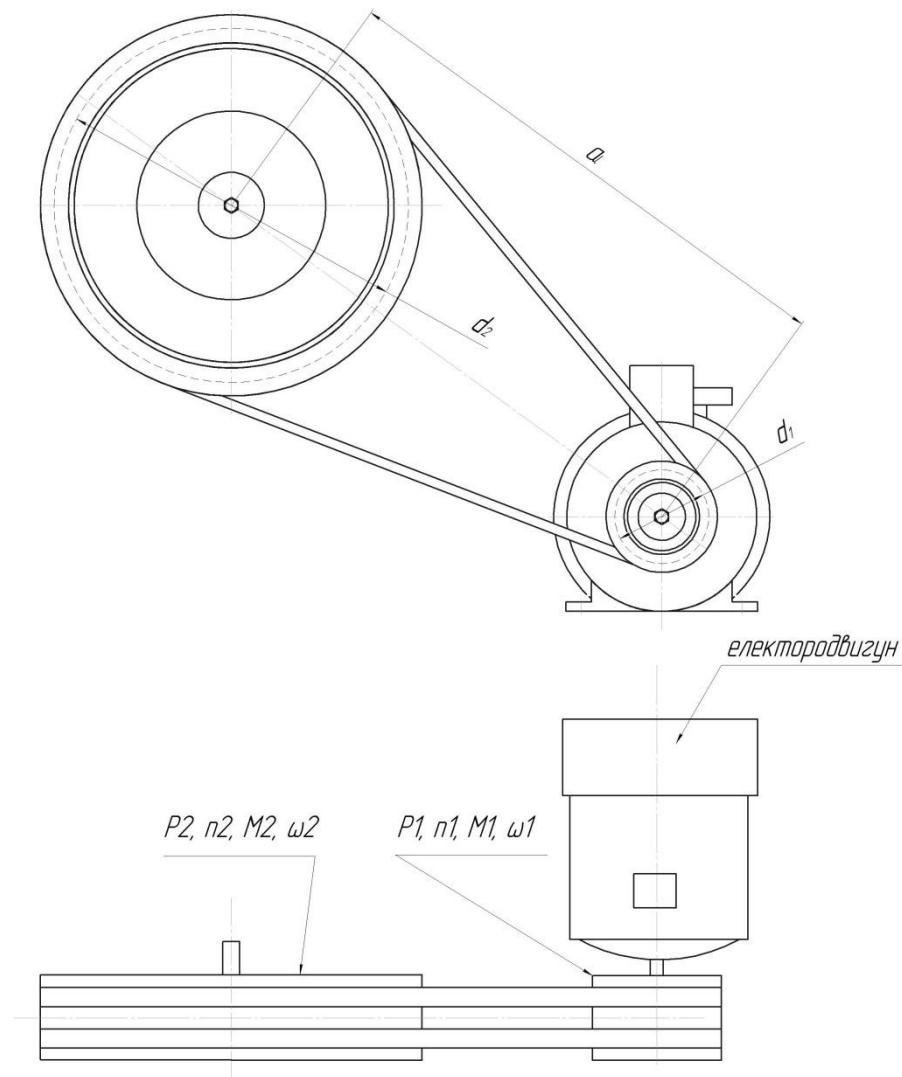


Рис. 2.2. Схема для приводу комбінованого шнека

Передаточне відношення для передачі пасової визначається за формулою (3) додатка Б:

$$i_1 = \frac{700}{180} = 3,88. \quad (2.13)$$

На основі отриманого значення передаточного відношення та прийнятого діаметра шківів ведучого на рівні 125 мм за формулою (4) додатка Б встановлюємо діаметр шківів веденого, мм:

$$d_2 = 3,88 \cdot 125 \cdot (1 - 0,02) = 475,03. \quad (2.14)$$

Уточнене значення відношення передаточного можна встановити за формулою (5) додатка Б:

$$i = \frac{475,03}{125} = 3,802. \quad (2.15)$$

За формулою (6) додатка Б встановлюється швидкість лінійна пасів приводу, м/с:

$$v = 73,25 \cdot 0,125 / 2 = 4,58. \quad (2.16)$$

Швидкість отримана у розрахунку за формулою (2.16) менша за допустиму 25 м/с, що вказує на можливість продовження розрахунків.

Встановлюємо значення відстані між центрами обертання веденого та ведучого шківів за формулою (7) додатка Б:

$$a' = 1 \cdot (125 + 475) = 600. \quad (2.17)$$

Довжина приводного паса встановлюється за формулою (8) додатка Б:

$$l = 2 \cdot 600 + \frac{3,14(125 + 475)}{2} + \frac{(475 - 125)^2}{4 \cdot 600} = 2193,04. \quad (2.18)$$

Найближче значення стандартної величини складає $l=2240$ мм.

Визначаємо фактичну величину відстані між осями обертання шківів за формулою (9) додатка Б, мм:

$$a_l = \frac{1}{8}(2 \cdot 2240 - 3,14 \cdot (125 + 475) + \sqrt{(2 \cdot 2240 - 3,14 \cdot (125 + 475))^2 - 8 \cdot (475 - 125)^2}) = 624,48. \quad (2.19)$$

Отже, між осями буде уточнена конструкційна відстань 625 мм.

Кут огинання ведучого шківа має бути більшим за граничне значення у 120° , визначаємо за формулою (10) додатка Б:

$$\alpha = 180^{\circ} - \frac{57^{\circ} \cdot (475 - 125)}{625} = 148,1^{\circ} > 120^{\circ} \quad (2.20)$$

Кількість пасів у приводній схемі має задовольняти умову максимально прикладеної потужності до одного паса – 1,29 кВт, визначаємо за формулою (11) додатка Б:

$$z = 3 / 1,29 = 2,23. \quad (2.21)$$

Для гарантованого безпроблемного приводу будемо використовувати три паси групи Б із довжиною 2240 мм.

2.4. Встановлення умов на міцність елементів системи приводу

Шків передає обертання до вала комбінованого шнека через шпонку, вибір якої здійснюється за відомими розрахункованими методиками [18, 19, 20] поданими у додатку В.

Момент кратний на ведучому валу визначається за формулою (2) додатка В, Н×мм:

$$T = \frac{3,0 \cdot 10^3}{73,25} = 40,95 \cdot 10^3. \quad (2.22)$$

Встановлюємо максимально діючі напруження та порівнюємо із допустимою величиною 100-120 МПа за формулою (1) додатка В, МПа:

$$\sigma^{\max} = \frac{2 \cdot 40,95 \cdot 10^3}{60(11 - 7)(56 - 18)} = 8,98 \text{ МПа} < 100 - 120 \text{ МПа}. \quad (2.23)$$

Таким чином фактично діючі напруження на зминання поверхні шпонки значно менші нід допустимі значення, що вказує на допустимість використання призматичної шпонки заданого розміру у системі приводу.

Висновки до розділу 2

1. Розроблений комбінований робочий орган для змішування сухих компонентів який втілює кращі властивості робочих органів обладнання як порційного так і потокового принципу роботи. На відміну від прототипу представлена розробка складається із двох полосових шнеків – внутрішнього та зовнішнього змонтованих на одному валу. Причому напрямленість витків шнеків протилежна, що сприяє покращенню процесу перемішування. Особливістю розробленого комбінованого шнека є те що зовнішня спіраль шнека не утворює суцільну лінію як у гвинта шнека, а поділена на окремі півкола які будуть виконувати функцію лопаток. Така конструкція сприятиме інтенсивності перемішування при реалізації потокового процесу.

2. За результатами технологічного та конструкційного розрахунку визначено основні геометричні параметри комбінованого шнека. Так, продуктивність удосконаленого обладнання становитиме 49,25 т/год, діаметр зовнішнього шнека становить 0,4 м, внутрішній шнек має діаметр 0,25 м, робоча довжина становить 3 м. Для приводу у роботу комбінованого шнека достатня потужність електродвигуна у 3 кВт.

3. Кінематична схема приводу робочого органу включає клинопасову передачу яка складається із трьох пасів, діаметр ведучого шківа становить 125 мм, а веденого – 475 мм. Розраховано на міцність шпонкове з'єднання у системі приводу комбінованого шнека.

РОЗДІЛ 3

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПЕРЕМІШУВАЧА СИПКИХ КОМПОНЕНТІВ

3.1. Вимоги до використання у виробництві розробленого пристрою

Конструкційна схема удосконаленого змішувача сухих компонентів із розробленим комбінованим шнековим робочим органом подана на рис. 3.1.

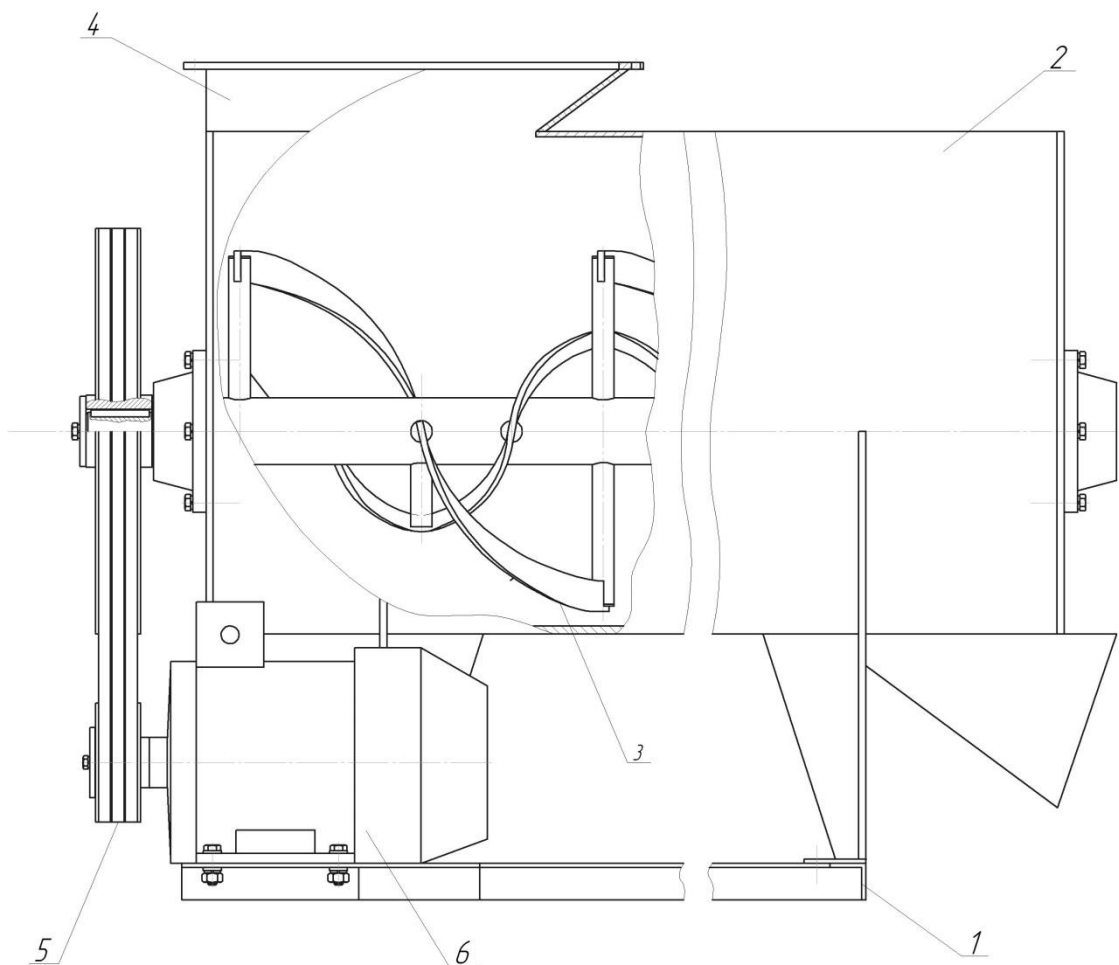


Рис. 3.1. Удосконалений змішувач сухих компонентів: 1 – опорна рама; 2 – місткість; 3 – розроблений комбінований шнек; 4 – вікно завантажувальне; 5 – передача клинопасова; 6 – двигун електричний;

Експлуатація удосконаленого перемішувача сухих компонентів передбачає дотримання правил техніки безпеки. В першу чергу до роботи обладнання мають допускатися особи які досягли дорослого віку та пройшли

інструктаж з техніки безпеки. Оператор повинен контролювати хід технологічного процесу перемішування сухих компонентів. Зокрема це стосується процесів завантаження складових та виходу готової суміші. Окрім цього необхідно піддавати контролю рівень заповнення робочої місткості корпусу, щоб не було переповнення. Так, якщо компоненти будуть повністю закривати витки верхнього шнека може погіршитися якість отриманої суміші, що небажано оскільки від ретельності перемішування складових залежить ступінь засвоєння поживних речовин твариною.

Особливість функціонування змішувача із комбінованим робочим органом з подвійним шнеком детально подано у п.2.1.

3.2. Порівняльна характеристика розробленого змішувача сипких компонентів

Доцільність впровадження розробленого комбінованого робочого органу у конструкції змішувача сухих компонентів можна встановити шляхом порівняння із обладнанням котре взяте за прототип. Для цього скористаємося відомими підходами [18, 20] у розрахунках викладених у додатку Г.

Для початку встановимо вартість на балансі прототипу (B_n) та нового обладнання (B_{na}), грн:

$$\begin{aligned} B_n &= 1,3 \cdot 73400 = 95420, \\ B_{na} &= 1,3 \cdot 77350 = 100555. \end{aligned} \tag{3.1}$$

Прямі експлуатаційні витрати при використанні перемішувачів включають відрахування на поновлення по закінченню терміна служби та відрахування на покриття витрат на електроенергію та оплату праці оператора.

При використанні залежностей поданих у додатку Г, встановили відрахування на амортизацію прототипа (B_{na}) та нового обладнання (B_{na}), грн:

$$B_{na} = \frac{95420 \cdot 15}{100} = 14313,$$

$$B_{na} = \frac{100555 \cdot 15}{100} = 15083,25.$$
(3.2)

Загальна тривалість роботи обладнання протягом року визначається потребою тваринницького підприємства місткістю 2000 голів свиней на відгодівлі у комбікормі. Так, за умови добової потреби у комбікормі 5,5 кг/гол. річна тривалість роботи прототипа буде становити 133,83 год., а удосконалене обладнання – 81,52 год.

В такому випадку затрати на електроенергію для прототипу (E_n) та удосконаленого змішувача (E_n) з врахуванням ціни на електрику 6,9 грн/кВт×год [21] становитимуть, грн:

$$E_n = 6,9 \cdot 7,5 \cdot 133,83 = 6925,7,$$

$$E_n = 6,9 \cdot 3,0 \cdot 81,52 = 1687,46.$$
(3.3)

Оплата за виконану працю оператора з врахуванням формули (6) у додатку Г становитиме, грн:

$$\Pi_n = 130 \cdot 133,83 = 17397,9,$$

$$\Pi_n = 130 \cdot 81,52 = 10597,6.$$
(3.4)

Сукупні експлуатаційні витрати є сумою розрахованих видатків за формулами (3.2-3.4), грн:

$$C_n = 14313 + 6925,7 + 17397,9 = 38636,6,$$

$$C_n = 15083,25 + 1687,46 + 10597,6 = 27368,31.$$
(3.5)

Для приведення витрат до однієї тони виробленої суміші використовуємо формулу (1) у додатка Г, грн/т:

$$P_n = \frac{38636,6}{4015} + 0,15 \cdot \frac{95420}{4015} = 13,18,$$
(3.6)

$$P_n = \frac{27368,31}{4015} + 0,15 \cdot \frac{100555}{4015} = 10,58.$$

Якщо відняти витрати приведені прототипа та удосконаленої машини і помножити на обсяг виробленої продукції (4015 т/рік) то отримаємо річну економію коштів від застосування розробки, грн:

$$H = (13,18 - 10,58) \cdot 1 \cdot 4015 = 10439. \quad (3.7)$$

Таким чином при собівартості виробленого комбікорму прототипом на рівні 9,63 грн/т та удосконаленого обладнання 6,82 грн/т, термін за який окупляться додаткові витрати на удосконалення становитиме, року:

$$D = \frac{100555 - 95420}{10439} = 0,49. \quad (3.8)$$

Результати отримані у розрахунках вказують на економічну доцільність застосування запропонованих удосконалень оскільки маємо додаткову економію коштів у сумі 10439 грн, а додаткові вкладення окупляться протягом шести місяців.

Висновки до розділу 3

1. Удосконалений змішувач сухих компонентів обладнаний розробленим комбінованим шнековим робочим органом, який забезпечує ефективне перемішування складових комбікорму за рахунок організації складних траєкторій руху частинок.

2. За умови збільшення обсягів виробництва можна отримати суттєвий прибуток, оскільки собівартість комбікорму удосконаленим змішувачем на 2,81 грн/т менша ніж у прототипа ЗК-2.

ВИСНОВКИ

1. До обладнання для змішування складових які входять у рецептуру комбікорму висувається вимога забезпечити однорідність перемішування не нижчу за 90%, що досить складно здійснити особливо при незначному вмісті якого-небудь із компонентів. Для реалізації технологічного процесу змішування промисловість пропонує обладнання яке відрізняється за способом дії та типом і кількістю робочих органів. Встановлено, що змішувачі потокового принципу реалізації технологічного процесу мають найкращі показники за питомими витратами енергії на приготування суміші сухих компонентів. Тому, обладнання такого типу є більш прийнятним не зважають на нижчу ступінь однорідності суміші, порівняно із обладнанням порційного принципу реалізації технологічного процесу.

2. Розроблений комбінований робочий орган змішувача який втілює кращі властивості робочих органів обладнання як порційного так і потокового принципу роботи. Особливістю розробленого комбінованого шнека є те що зовнішня спіраль шнека не утворює суцільну лінію як у гвинта шнека, а поділена на окремі півкола які будуть виконувати функцію лопаток, а внутрішній шнек переміщує компоненти у протилежному напрямку. Така конструкція сприятиме інтенсивності перемішування при реалізації потокового процесу.

3. За результатами технологічного та конструкційного розрахунку визначено основні геометричні параметри розробленого комбінованого робочого органа. Продуктивність удосконаленого обладнання становитиме 49,25 т/год, діаметр зовнішнього шнека становить 0,4 м, внутрішній шнек має діаметр 0,25 м, робоча довжина становить 3 м, потужність електродвигуна на привод у роботу комбінованого шнека становить 3 кВт.

4. За умови обсягу виробництва комбікорму на рівні 4015 т/рік, собівартість продукції зменшується на 2,81 грн/т порівняно із прототипом ЗК-2, що дає змогу окупити додаткові витрати на удосконалення протягом 0,5 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Приготування комбікорму: як забезпечити однорідність змішування преміксів (БМВД) : веб-сайт. URL : <https://artmash.ua/article/prigotovlenie-kombikorma-kak-obespechit-odnorodnost-smeshivaniya-premiksov-bmvd>.
2. Дяченко Л. С. Основи технології комбікормового виробництва: навч. посібник. Біла Церква, 2015. 306 с
3. Єгорова Б. В. Технологія виробництва комбікормів : підручник. Одеса: Друк. дім, 2011. 448 с.
4. Типові раціони для годівлі свиней : веб-сайт. URL : <https://www.koudijs.ua/korm-dlya-tvarin/svini/retsepti>.
5. В. Піску, Ю. Яценко, С. Антоненко, А. Золотарев. Виробництво комбікормів в умовах господарств з навантаженням резервуванням дозування та змішування. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН*. 2024. 132. С. 124–139.
6. Проблеми змішування при виготовленні комбікормів : веб-сайт. URL : <https://grassland.com.ua/blog/problems-smeshivanie-pri-izgotovlenii-kombikormov>.
7. Дмитрі В. Т., Городня Р. В. Контроль якості змішування на основі теорії розмірностей. *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи*: тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції, 28-30 травня 2015 р. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. С. 138–139.
8. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Олексюк В. П. Машини та обладнання для тваринництва: навчальний посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця, 2021. 240 с.
9. Безсмертний О. В. Класифікаційні ознаки змішувачів компонентів. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2. С. 3–5.
10. Черновол М. І., Свірень М. О., Кісільов Р. В. Приготування кормових сумішей комбінованим змішувачем. *Вісник аграрної науки*. 2018. №2. С. 54–59.

11. Кормозмішувач КС-1000 : веб-сайт. URL : <https://tms-agro.com.ua/kormozmishuvach-ks-1000-380v>.
12. Змішувачі вертикальні для кормів : веб-сайт. URL : <https://greens-sumy.prom.ua/ua/g29698786-smesiteli-vertikalnye-dlya>.
13. Змішувач Н-ЗСЛ-1000 : веб-сайт. URL : <https://simo.com.ua/ua/obladnannya/smesitel-zsl-1000>.
14. Змішувач ЗМХ-1000 : веб-сайт. URL : <https://mehzavod.com.ua/ua/catalog/zmg/zmg-1000/>.
15. Змішувач комбікорму ЗК-2 : веб-сайт. URL : <https://artmash.ua/product/smesitel-kombikorma-2-kub-m/>
16. Столяр О. О. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів змішування компонентів. : кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженері. Житомир: Поліський національний університет, 2024. 32 с.
17. Безсмертний О. В. Розроблення конструкції робочого органу змішувача компонентів. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 7–9.
18. Основи конструювання машин: підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / за ред. Ю. С. Рудя. Кривий Ріг: ФОП Чернявський Д. О., 2016. 492 с
19. Павлише В. Т. Основи конструювання розрахунку деталей машин. К.: Вища школа, 1993. 556 с.
20. Борознець Г. М., Павлова В. М., Семах І. В. Деталі машин : навчальний посібник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 220 с.
21. Тарифи на електроенергію : веб-сайт. URL : <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/>