

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Острогляд Вадим Олегович

УДК 631.363

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧА–
ФЕРМЕНТАТОРА КОРМІВ ДЛЯ ФЕРМЕРСЬКИХ
ГОСПОДАРСТВ**

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

_____ Острогляд В.О.

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Острогляд Вадим Олегович. Обґрунтування основних параметрів змішувача-ферментатора кормів для фермерських господарств. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В магістерській роботі розроблено конструкційне рішення змішувача компонентів, що дає змогу змішувати сухі та вологі корми з якістю, яка задовольняє зоотехнічні вимоги і з меншими енерговитратами.

Встановлено оптимальні значення параметрів змішувального вузла змішувача, за яких забезпечується необхідна якість змішування сипких і вологих кормів із мінімальними витратами електроенергії: кут гелікоїда шнеків $\theta = 50^\circ$; висота витків зовнішнього шнека $h_2 = 50$ мм; висота витків внутрішнього шнека $h_3 = 75$ мм; крок витків S_2 зовнішнього шнека 105 мм; крок витків S_3 внутрішнього шнека 135 мм; довжина лопаток $l = 32$ мм.

У випадку з перемішуванням сипучих кормів забезпечується необхідна частота обертання змішувального вузла 45 хв^{-1} , час змішування $t = 70 \dots 100$ с. За цих параметрів питомі енерговитрати не перевищують $0,9 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$. У разі перемішування вологих кормів питомі енерговитрати не перевищують значення $0,32 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$ за частоти обертання змішувального вузла $n = 30 \text{ хв}^{-1}$ і часу змішування $t = 110$ с.

Ключові слова: змішувач, продуктивність, корм, частота обертання, енерговитрати.

ANNOTATION

Ostroglyad Vadym Olehovych. Substantiation of the main parameters of the mixer-fermenter of feed for farms. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the master's thesis, a design solution for a component mixer was developed that allows mixing dry and wet feed with a quality that meets zootechnical requirements and with lower energy consumption.

The optimal values of the parameters of the mixing unit of the mixer were determined, which ensure the required quality of mixing bulk and wet feed with minimal energy consumption: the angle of the helicoid of the screws $\theta = 50^\circ$; the height of the turns of the outer screw $h_2 = 50$ mm; the height of the turns of the inner screw $h_3 = 75$ mm; the pitch of the turns S_2 of the outer screw 105 mm; the pitch of the turns S_3 of the inner screw 135 mm; the length of the blades $l = 32$ mm.

In the case of mixing bulk feed, the required rotational speed of the mixing unit is 45 min^{-1} , and the mixing time is $t = 70 \dots 100$ s. With these parameters, the specific energy consumption does not exceed 0.9 kWh/t. In the case of mixing wet feed, the specific energy consumption does not exceed 0.32 kWh/t at a mixing unit rotation frequency of $n = 30 \text{ min}^{-1}$ and a mixing time of $t = 110$ s.

Keywords: mixer, productivity, feed, rotational speed, energy consumption.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЗМІШУВАЧІВ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ.....	8
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОЇ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧА ФЕРМЕНТАТОРА КОРМІВ.....	22
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІШУВАЧА- ФЕРМЕНТАТОРА КОРМІВ ДЛЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ.....	31
ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Головне завдання, яке стоїть перед вітчизняними сільгоспвиробниками – це стабільне забезпечення продовольчої безпеки країни. Найважливішим завданням при досягненні цієї мети є енергозбереження та підвищення продуктивності праці, які неможливі без застосування сучасних досягнень науки, впровадження передових технологій та науково-обґрунтованих високоефективних комплексів машин і обладнання, як у рослинництві, так і в тваринництві.

Доведено, що основна частка витрат при виробництві продукції тваринництва припадає на приготування кормів. Водночас приготування комбикормів в умовах фермерського господарства знижує собівартість кормів, а також дає змогу збалансувати їх за поживною цінністю з урахуванням кормової бази. Отримати збалансований корм можна шляхом змішування необхідних компонентів у змішувальних машинах. Однак практично всі змішувачі вузько спеціалізовані та призначені для змішування певних матеріалів (сипучих або вологих), що веде до додаткових витрат у вигляді купівлі фермерами додаткового обладнання та витрат електроенергії.

Деякі сільгоспвиробники, прагнучи знизити витрати на виробництво продукції, переходять на корми з високим вмістом легко засвоюваного білка, які отримують з малоцінного широко поширеного матеріалу шляхом його синтезу. Однак на сьогоднішній день відсутні спеціальні машини з науково обґрунтованими конструкційними параметрами для отримання такого корму. Тому створення універсального змішувача, призначеного для змішування безпосередньо у фермерських господарствах як традиційних сухих сипучих і вологих розсипних, так і отримання сучасних синтезованих кормів, є актуальним завданням.

Об'єкт наукового дослідження. Змішувальний вузол і система нагрівання кормової суміші кормової суміші змішувача.

Предмет наукового дослідження. Вплив конструкційних параметрів і укладання нагрівального елемента кормової суміші на енергоємність змішувача.

Мета наукового дослідження. Розроблення та дослідження змішувача-ферментатора кормів для фермерських господарств із науково обґрунтованими конструкційними параметрами його змішувального та нагрівального вузлів.

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні завдання:

- розробити конструкційне рішення змішувача-ферментатора сухих і вологих кормів для фермерських господарств;
- провести експериментальні дослідження змішувального вузла та системи нагрівання кормової суміші;
- розробити рекомендації щодо використання змішувача;
- провести експериментальні дослідження змішувального вузла та системи нагрівання кормової суміші;
- розробити рекомендації щодо використання змішувача.

Методи наукового дослідження. Результати в роботі отримано за допомогою класичних математичних, фізичних, статистичних методів, а також експериментальних досліджень у лабораторних умовах, проведених відповідно до чинних стандартів і розроблених приватних методик.

Інформаційною базою дослідження стали: нормативно-законодавчі документи; дані, опубліковані в роботах провідних дослідників; аналітичні матеріали науково-дослідних організацій України та інших країн; інформація, розміщена на офіційних сайтах; науково-освітніх організацій, які займаються проблемами розвитку сільського господарства.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., **Острогляд В.О.** Огляд змішувачів періодичної дії. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських

машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 298-303.

2. Куликівський В.Л., **Острогляд В.О.** Розробка лабораторної та експериментальної установки для обґрунтування основних параметрів змішувача ферментатора кормів. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 210-213.

3. Куликівський В.Л., **Острогляд В.О.** Дослідження змішувального вузла з теоретично визначеними конструкційними параметрами змішувача-ферментатора. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для виробництва представляє розроблений змішувач-ферментатор сухих і вологих кормів для фермерських господарств.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 45сторінок комп'ютерного тексту, містить 28 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЗМІШУВАЧІВ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Унаслідок відмінності фізико-механічних властивостей змішуваних компонентів у тваринництві для приготування кормових сумішей застосовують змішувачі різних конструкцій [1].

Згідно з І. Я. Федоренком усі змішувачі можна класифікувати за такими ознаками: за вологістю кормової суміші (для сипучих, вологих і рідких кормів); за характером процесу змішування (періодичної та безперервної дії); за способом впливу на суміш (гравітаційні, відцентрові, з механічним впливом робочих органів); за конструктивними ознаками (з перемішувальним пристроєм, зі швидкохідними роторами, вібраційні); за суміщенням виконуваних операцій (змішувачі, змішувачі-запарники, змішувачі-подрібнювачі, змішувачі-роздавальники, змішувачі-подрібнювачі-роздавальники кормів) [1].

Згідно з дослідженнями та рекомендаціями деяких авторів для змішування сипких і розсипних вологих кормів застосовують шнекові та лопатеві змішувачі. Дані види змішувачів можуть бути застосовані також для отримання ферментованих кормів, процес отримання яких протікає у вологому середовищі. Тому проведемо огляд та аналіз наявних шнекових і лопатевих змішувачів періодичної дії [1].

Черв'ячно-лопатеві змішувачі належать до універсальних. Їх можна застосовувати для змішування як зволжених матеріалів і паст, так і сухих сипучих матеріалів. Вони виготовляються з одним або двома валами, зі змонтованими на них змішувальними елементами. Конфігурація валків залежить від властивостей суміші, що змішується.

Яскравим прикладом черв'ячно-лопатевих змішувачів може слугувати дволопатевий змішувач із реверсивним шнеком. В конструкцію цього змішувача для інтенсифікації процесу змішування і поліпшення умов вивантаження суміші на місці гребеня днища встановили реверсивний шнек. Змішувач типу СРШ

складається (рис. 1.1) з камери змішування 1 з кришкою 2, двох валків 3 спеціальної форми, реверсивного шнека 4, приводу 5 валків, приводу 6 шнека і станини 7.

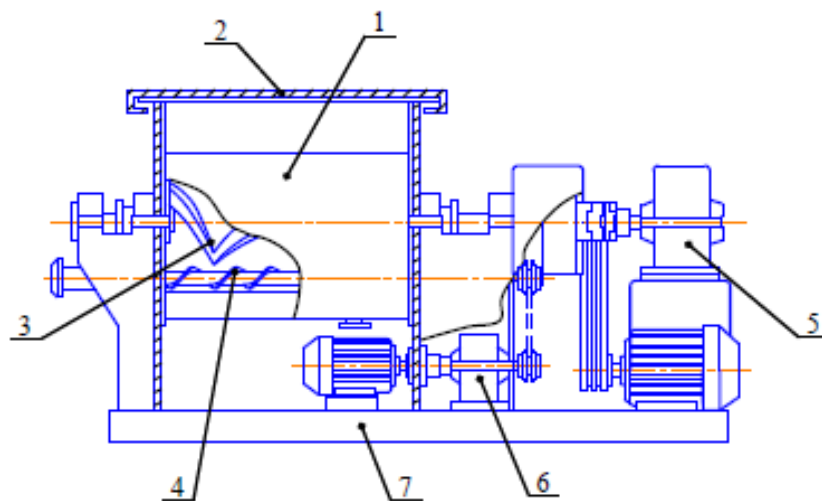


Рис. 1.1. Двох лопатевий змішувач із реверсивним шнеком типу СРШ: 1 – камера змішування; 2 – кришка; 3 – валки; 4 – реверсивний шнек; 5 – привід валків; 6 – привід шнека; 7 – станина [1].

Торцеві стінки камери 1 виконані знімними, на їхньому зовнішньому боці закріплені корпуси сальникових ущільнень валків і шнека, підшипникові вузли, а на передній стінці, крім того, і вивантажувальний патрубок шнека. З метою нагрівання або охолодження перемішуваної маси на бічну поверхню камери можна встановити сорочку [1].

Обертання валків 3 здійснюється з різною швидкістю назустріч один одному. Реверсивний шнек 4 розташований у корпусі під лопатями валків 3. Вид процесу (інтенсифікація змішування або розвантаження готової суміші) залежить від напрямку його обертання [1].

З лопатевих змішувачів найпоширеніші змішувачі серії С. Вони призначені для приготування сирих або запарених кормових сумішей.

Змішувач складається з корпусу 1 (рис. 1.2), паророзподільника 2 з кранами, дволопатевих мішалок 3, вивантажувального шнека 4, вивантажувальної горловини 5, кришок 7 і системи керування 6 засувкою і ввімкненням шнека. Рух мішалки і шнека здійснюється від приводу 8.

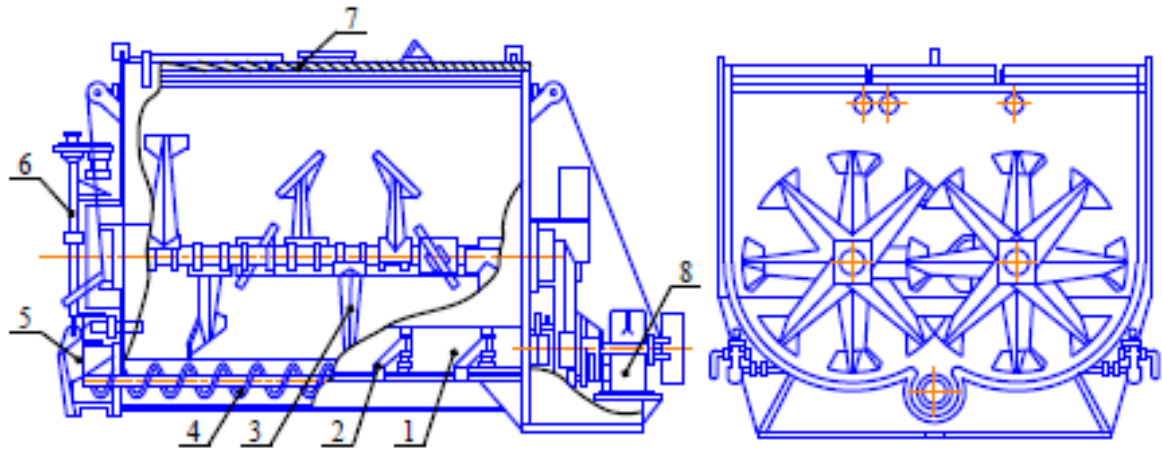


Рис. 1.2. Змішувач С-12: 1 – корпус; 2 – паророзподільувач; 3 – лопатева мішалка; 4 – вивантажувальний шнек; 5 – вивантажувальна горловина з клинковою засувкою; 6 – система управління; 7 – кришка; 8 – привід [1].

Для подачі води між торцевими стінками корпусу вварені труби. Змішувач має дві мішалки, на кожній з яких змонтовано вісім лопатей. Лопаті встановлені на валу по гвинтовій лінії під кутом 45° таким чином, що права і ліва мішалки переміщують корм назустріч одна одній.

У нижній частині змішувача виконано шнек для вивантаження готової маси. Зверху корпус герметично закритий кришками.

Система подачі пари складається з колектора з манометром і двох розподільчих труб, які з'єднуються з паропровідними патрубками.

Подачу пари регулюють за допомогою перемикача.

Першими в змішувач подають корми, які необхідно запарювати. Попередньо подрібнені грубі корми завантажують, одночасно зволожуючи. При заповненні не більше $1/3$ об'єму вмикають мішалки і продовжують завантаження. Закривають кришки люків, проводять запарювання компонентів. Після цього з метою охолодження корму доливають воду і додають інші необхідні компоненти. Під час приготування кормових сумішей без запарювання всі компоненти, що входять до суміші, можна подавати одночасно. Час змішування компонентів становить 10 хв [1].

Різновидом одновалкових черв'ячно-лопатевих змішувачів є плужкові. Їх використовують здебільшого для приготування композицій із матеріалів із великою липкістю. У таких машинах перемішувальний орган виконаний у вигляді горизонтального вала 3, на якому змонтовані плугоподібні лопаті 10 (рис. 3), зміщені відносно одна одної на $90...180^\circ$.

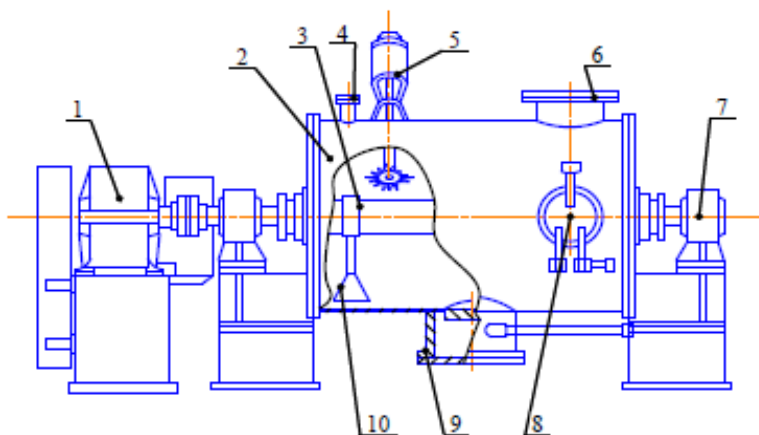


Рис. 1.3. Плужковий змішувач типу СПЖ-500: 1 – електродвигун; 2 – корпус змішувача; 3 – вал; 4 – штуцер; 5 – електродвигун; 6 – завантажувальний патрубок; 7 – корпус підшипника; 8 – люк; 9 – вивантажувальний патрубок; 10 – лопаті [1].

Зазор між плужком і внутрішньою стінкою корпусу 2 змішувача перебуває в межах 1...2 мм. У верхній частині корпусу виконано завантажувальний патрубок 6, поруч із яким для введення рідких компонентів є штуцер 4. Матеріал вивантажують зі змішувача через патрубок 9, який вварений в середині нижньої частини корпусу. Для огляду і чищення змішувача на корпусі 9 є два люки 8.

Для руйнування агломератів грудкувальних матеріалів у бічній частині корпусу встановлені дві ножові головки, що обертаються безпосередньо від електродвигунів 5. Вал із плужками приводиться від електродвигуна 1 через понижувальний редуктор. Приводний вал змонтований на підшипниках кочення.

У деяких конструкціях цих змішувачів корпус має сорочку для обігріву або охолодження перемішуваної суміші [1].

Загальними недоліками черв'ячно-лопатевих змішувачів є: значна питома витрата електроенергії, велике зношування лопатей валків, безліч сальникових ущільнень, труднощі очищення, порівняно малий корисний об'єм [1].

До одновалкових черв'ячно-лопатевих змішувачів належать і стрічкові. Їхній змішувальний орган виконаний у вигляді однієї або декількох спіральних стрічок, закріплених на горизонтальному валу за допомогою стійок [1].

При змішуванні зволжених або ущільнюючих матеріалів на стрічках ставлять розпушувальні стрижні. Для поліпшення очищення корпусу від матеріалу, що налипає, зазор між зовнішніми крайками стрічок і внутрішньою поверхнею корпусу встановлюють, рівним 1...2 мм. Прикладом таких змішувачів може бути змішувач стрічковий горизонтальний типу СЛН (рис. 1.4) [1].

Для одночасного підсушування і перемішування зволжених матеріалів деякі стрічкові змішувачі забезпечені сорочками для обігріву або охолодження перемішуваної маси і штуцерами для вакуумного відсмоктування.

З метою підвищення ефективності процесу змішування, зниження питомих енерговитрат, ліквідації застійних зон і зменшення часу вивантаження матеріалу в змішувачі для змішування сипких матеріалів у змішувачі використовується спеціальний комбінований шнек [1].

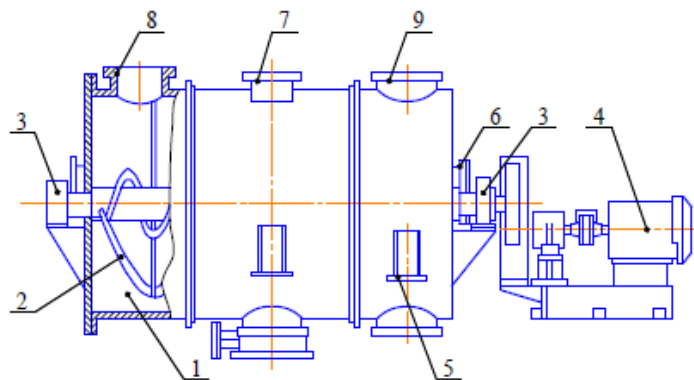


Рис. 1.4. Змішувач стрічковий горизонтальний типу СЛН-10: 1 – корпус змішувача; 2 – стрічкова мішалка; 3 – опорні підшипники; 4 – привід змішувача; 5 – опорні лапи; 6 – люк для огляду; 7 – штуцер для вентиляції; 8, 9 – штуцери для завантаження матеріалу; 10 – штуцер для вивантаження матеріалу [1].

Змішувач складається з бункера 1 (рис. 1.5), який встановлено на рамі 2, завантажувального 3 і вивантажувального 4 патрубків, заслінки 5, комбінованого шнека 6, двигуна 7, редуктора 8, робочого органа, що є комбінованим шнеком 6, який складається з вала 9, на якому встановлені розташовані за гвинтовою лінією через 90° стрижні 10 з елементами стрічкової спіралі 11 і стрічкові шнеки. Особливістю цієї машини є співвідношення діаметрів і кроків шнеків: зовнішній 12 із діаметром D і кроком L ; середній 13 із діаметром $3/4D$ і кроком $3/4L$; внутрішній 14 із діаметром $2/5D$ і кроком $2,5L$.

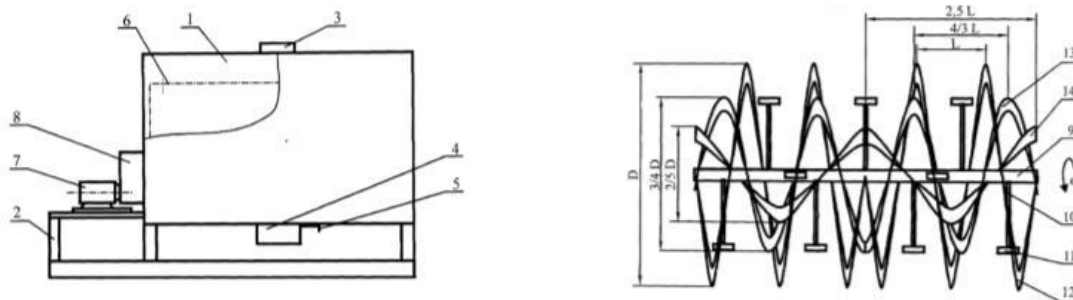


Рис. 1.5. Змішувач за патентом № 2488434: а – конструкційна схема; б – комбінований шнек; 1 – бункер; 2 – рама; 3, 4 – завантажувальний і розвантажувальний патрубки; 5 – заслінка; 6 – комбінований шнек; 7 – двигун; 8 – редуктор; 9 – вал; 10 – стрижні; 11 – елементи стрічкової спіралі; 12 – зовнішній стрічковий шнек; 13 – середній стрічковий шнек; 14 – внутрішній стрічковий шнек.

Недоліком цього винаходу є неможливість змішування вологих компонентів матеріалів, що завантажуються до бункера, і, як наслідок, налипання на стінки бункера матеріалів, що змішуються, та, відповідно, утворення застійних зон, що зумовлюють погіршення процесу змішування матеріалів і неповне вивантаження готового корму. Застосування в пристрої робочого органу, обладнаного стрижнями з елементами стрічкової спіралі, і трьох стрічкових шнеків без урахування кутів установки їхніх витків значно підвищує енергоємність процесу змішування компонентів завантажених у бункер матеріалів. Іншим недоліком пристрою є неможливість його застосування для отримання ферментованого корму. У змішувачі періодичної

дії, розробленому Селезньовим О. Д. і Полещуком С. М., з метою скорочення циклу змішування змішувальний робочий орган забезпечений жолобами. Як зазначають автори, внаслідок встановлення жолобів у змішувачі виникають додаткові потоки рухомого по них матеріалу, що надходить через отвори в зовнішній шнековій стрічці, які під кутом впроваджуються в основний потік змішувальних компонентів. У результаті взаємодії перехресних потоків матеріалу відбувається збільшення інтенсивності змішування, що веде до скорочення тривалості процесу.

Змішувач (рис. 1.6) містить корпус 1 із завантажувальним 2 і розвантажувальним 3 патрубками, встановлений на рамі 4, конструкція якої дає змогу змінювати кут нахилу корпусу до горизонту, і привід 5 (рис. 6). У середині корпусу встановлено змішувальний робочий орган 6, виконаний у вигляді концентрично встановлених на приводному валу 7 зовнішньої 8 і внутрішньої 9 шнекових стрічок з протилежним напрямком навивки. Жолоби 10 встановлені діаметрально протилежно відносно вала опуклістю в напрямку корпусу, один кінець яких приварений до вала, а інший – до неробочої поверхні зовнішньої шнекової стрічки, на якій у місці кріплення жолобів виконано сполучені з ними отвори 11 діаметром, що дорівнює двом радіусам жолоба. У внутрішній шнековій стрічці виконано отвори 12, під якими на її неробочій поверхні з боку вала приварені пластини 13.

У корпус змішувача 1 через завантажувальний патрубок 2 подають компоненти, вмикають привід 5 робочого органу 6 змішувача. Під час обертання вала 7 матеріал, що змішується, під дією зовнішньої шнекової стрічки переміщується до верхньої частини змішувача, а під дією сили тяжіння і внутрішньої шнекової стрічки - до його нижньої частини. Крім того, у змішувачі виникають додаткові потоки матеріалу, що рухається через отвори 11 по жолобах 10, які під кутом впроваджуються в основний потік. Після отримання суміші необхідної однорідності вона вивантажується через вивантажувальний патрубок 3 при відкритій заслінці.

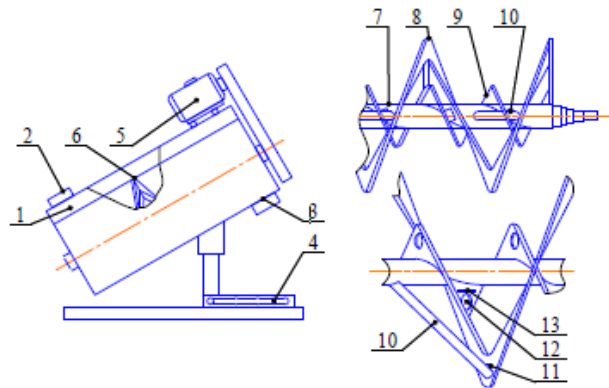


Рис. 1.6. Змішувач за патентом № 2008082: 1 – корпус; 2, 3 – завантажувальний і розвантажувальний патрубки; 4 – рама; 5 – привід; 6 – змішувальний робочий орган; 7 – приводний вал; 8, 9 – зовнішня і внутрішня шнекові стрічки; 10 – жолоб; 11, 12, – отвори; 13 – пластина

До недоліків цього змішувача можна віднести додаткові навантаження на вал, шнекові стрічки, підшипники внаслідок дії сил тяжіння через кут нахилу відносно горизонталі. Другим суттєвим недоліком пристрою є забивання жолоба та додаткових отворів під час змішування вологих кормів через їхні фізичні властивості, що може призвести до погіршення якості змішування. З метою отримання високої якості сумішей і максимально можливої при цьому продуктивності конструкція шнекового змішувача для переробки матеріалів виконана з можливістю регулювання інтенсивності перемішування. Це досягається за рахунок встановлення елементів стрічкової спіралі з можливістю повороту навколо своєї осі на кут від 0 до 180 о. Крім того, кожен елемент за рахунок індивідуального приводу може бути встановлений під своїм кутом та інтенсифікувати процес зміщення на різних рівнях міжвиткового простору.

Змішувач (рис. 1.7) складається з циліндричного корпусу 1 із завантажувальним 2 і розвантажувальним 3 патрубками. У середині корпусу 1 на підшипникових опорах встановлено шнек 4. Шнек 4 складається з порожнистого валу 5, на якому є основна навивка 6. В отвори порожнистого вала встановлено радіальні стрижні 7 з елементами стрічкової спіралі 8, 9, 10, що розташовані під кутом α на різних рівнях у межах висоти основної навивки. Стрижень 7

встановлюється на підшипнику ковзання 11, який кріпиться в отворі порожнистого вала 5. На кінці стрижня закріплено зубчасте колесо 12, яке входить у зачеплення із зубчастою рейкою 13. Під час переміщення рейки зубчасте колесо обертається і повертає елемент стрічкової спіралі на кут α . Залежно від різного кута розташування елементів збільшується або зменшується інтенсивність змішування і час перебування компонентів суміші в бункері, тобто доборою кута α дослідним шляхом забезпечується необхідна якість для даної суміші.

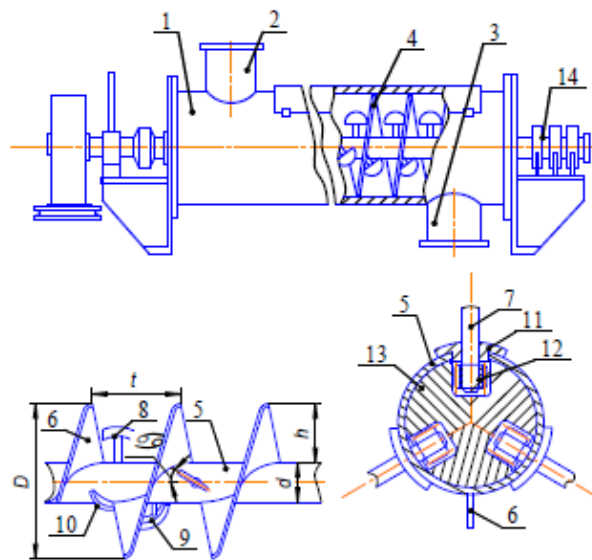


Рис. 1.7. Шнековий змішувач для переробки матеріалів: 1 – корпус; 2, 3 – завантажувальний і розвантажувальний патрубки; 4 – шнек; 5 – порожнистий вал; 6 – навивка; 7 – стрижень; 8, 9, 10 – елементи стрічкової шнек; 5 – порожнистий вал; 6 – навивка; 7 – стрижень; 8, 9, 10 – елементи стрічкової спіралі; 11 – підшипник ковзання; 12 – зубчасте колесо; 13 – зубчаста рейка.

Недоліком змішувача є низька ефективність процесу змішування сипких сумішей унаслідок руху їх під час виконання технологічного процесу тільки в одному напрямку. Цьому пристрою властиві високі питомі енерговитрати через застосування шнека з вбудованими стрижнями, що мають елементи стрічкової спіралі з напрямком навивки, зворотним напрямку навивки шнека. Існує необхідність у регулюванні робочих органів під час змішування матеріалів із різними властивостями. Крім того, конструкція та технологічний процес

шнекового змішувача не пристосовані для ферментації сипучих матеріалів із рідкою фазою різної в'язкості.

Ведищев С. М., Свиридов М. М., Прохоров А. В., Усатюк Н. В., Самойлов Є. А. і Хольшев Н. В. пропонують використовувати для змішування кормів двох валковий змішувач [3], зазначаючи, що при його використанні підвищиться якість змішування та знизиться питома енергоємність.

Змішувач кормів містить забезпечений вивантажувальними патрубками 1 корпус 2 (рис. 1.8). У нижній частині корпусу 2 паралельно розміщено два протитранспортувальні перемішувальні робочі органи, кожен з яких виконаний складеним із двох частин 3 і 4, причому частини мають автономні приводи 5 і обертаються в протилежні боки. Частину 3 виконано у вигляді гвинтової навивки 6 і перемішувально-транспортувальних лопаток 7. Частину 4 виконано у вигляді перемішувально-транспортувальних лопаток 8 і перекидних лопаток 9. Перемішувально-транспортувальні лопатки 7 і 8 встановлені під протилежними кутами одна до одної відносно поздовжньої осі робочого органу.

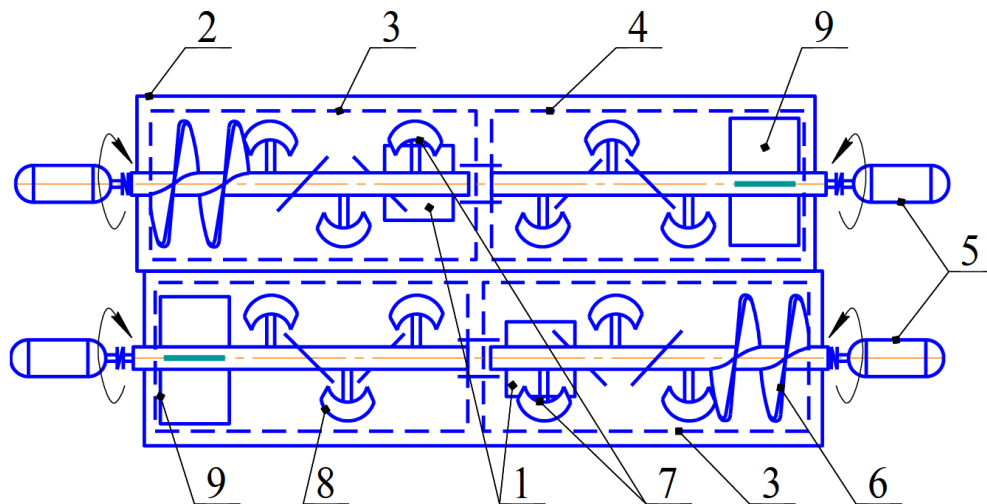


Рис. 1.8. Змішувач кормів за патентом № 2381725: 1 – вивантажувальний патрубок; 2 – корпус. 3, 4 – складові частини протитранспортувального перемішувального робочого органу; 5 – автономний привід; 6 – гвинтове навивання; 7, 8 – перемішувально-транспортувальні лопатки; 9 – перекидні лопатки.

Змішувач кормів працює таким чином. Завантажується корм у корпус 2. Вмикаються приводи 5 частин 3 і 4 робочих органів. Під дією гвинтової навивки 6 і перемішувально-транспортувальних лопаток 7 корм, перемішуючись, рухається до вивантажувального патрубку 1. Обертання частини 3 робочого органу здійснюється в такому напрямку, за якого корм зміщується до бічної стінки корпусу 2. Оскільки частина 4 робочого органу обертається в протилежний бік відносно частини 3, то перемішувально-транспортувальні лопатки 8 перемішують і переміщують корм до перекидальних лопатей 9, частково перекидаючи його в зону роботи другого робочого органу. Остаточне перенесення корму в зону роботи другого робочого органу виконують перекидні лопаті 9. Аналогічно, з тим самим ефектом змішування, але в протилежному напрямку переміщує корм другий робочий орган. Після закінчення перемішування готова кормосуміш вивантажується через патрубки 1.

Недоліки змішувача такої конструкції: нерівномірність процесу змішування, тривалість процесу вивантаження готового корму, неповне вивантаження корму, утруднене чищення камери і робочих органів.

Змішувач (рис. 1.9), аналогічний змішувачам серії С, призначений для змішування компонентів комбікорму з рідкими компонентами (жир, меляса та ін.) у кількості до 6 % від маси однієї дози.



Рис. 1.9. Змішувач горизонтальний серії СГ.

Корпус змішувача являє собою зварену сталеву конструкцію. Нижня частина корпусу має форму подвійного жолоба. Усередині корпусу розташовуються два горизонтальних вали з лопатями, що обертаються в протилежні боки. Обертання валів змішувача здійснюється від електродвигуна за допомогою пасової і зубчастої передач. Машина має відносно тривалий цикл змішування – 5 хв, і високу енергоємність процесу – 1...2 кВт·год/т.

Компанія "Жако", розташована, займається виробництвом горизонтальних одновальних змішувачів (рис. 1.10 а) продуктивністю до 2 т/год і двох вальних лопатевих змішувачів (рис. 1.10 б) продуктивністю до 30 т/год. Одновальні змішувачі за рекомендаціями заводу-виготовлювача призначені для отримання однорідної маси під час механічного змішування подрібнених компонентів зернових культур, білково-мінеральних і рідких (не більш як 10%) добавок (жир, рослинна олія, вітаміни та ін.).

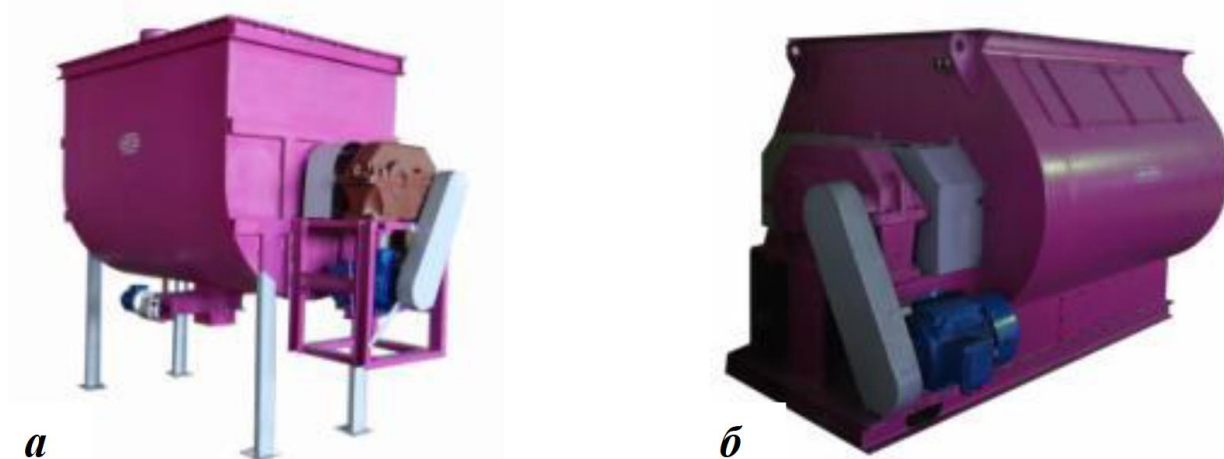


Рис. 1.10. Змішувачі кормів фірми "Жаско": а – одно вальний; б – двох вальний

Двох вальні лопатеві змішувачі призначені для порційного змішування компонентів із різною об'ємною масою. Заявлена однорідність суміші становить 90...95 %, а час змішування 1...2 хв. Пристрій змішувача дає змогу отримати однорідну суміш сипких продуктів із рідинами (з відсотковим вмістом рідких компонентів не більше 10 %).

На базі змішувача типу СЛН розроблено одновальні змішувачі серії WBH (рис. 1.11) з об'ємом робочої камери до 15 м³. Заявлений виробником час змішування компонентів становить 1...4 хв.



Рис. 1.11. Одновальний змішувач циклічної дії серії WBH

Крім того, змішувач забезпечений дезагломераторами, форсунками для введення рідини, пробовідбірником, і датчиком контролю температури. Залежно від компонентів, що змішуються, у змішувачі встановлюються різні робочі органи.

Висновки по розділу

У результаті проведеного аналізу наявних конструкцій змішувального обладнання можна зробити висновок, що частина змішувачів (такі, як, наприклад, черв'ячно-лопатеві) мають високі енерговитрати на одиницю готового продукту, частина готують суміші низької якості та тривалий час. Усі пропоновані змішувачі вузько спеціалізовані та призначені для змішування матеріалів із конкретними фізико-механічними властивостями. Жоден із розглянутих змішувачів не орієнтований на одержання цінних кормів із високим вмістом легко засвоюваного білка. Тому розробка сучасного змішувача, який об'єднав би переваги і черв'ячно-лопатевих, і стрічкових змішувальних машин,

здатного приготувати і сипкі, і вологі, і ферментовані корми, є на сьогоднішній день актуальним завданням.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОЇ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧА- ФЕРМЕНТОРА КОРМІВ

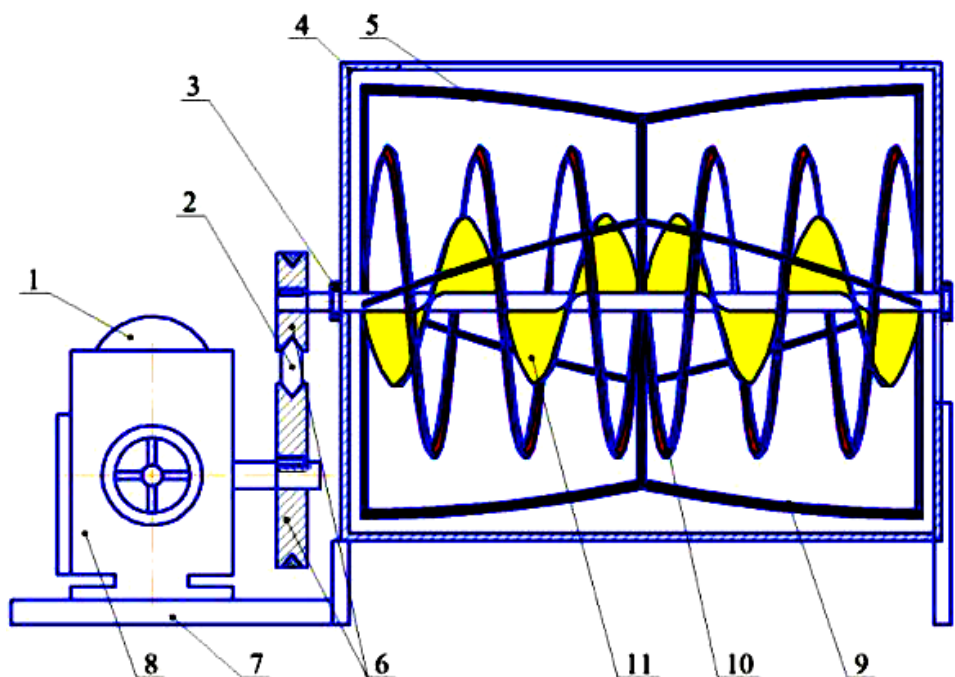
Для вивчення змішування сипучих і вологих компонентів кормів виготовлено діючий макет змішувача (лабораторна установка) (рис. 1). Він складається з електродвигуна 1, від якого через редуктор 8 і ремінну передачу 2 обертання передається змішувальному органу 5. Корпус 4 змішувача виконаний у вигляді циліндра і встановлений на рамі 7. Для зручності взяття проб вікно для завантаження матеріалу виконано на всю довжину корпусу 4. Змішувальний вузол складається зі скребків 9, зовнішнього 10 і внутрішнього 11 шнеків (рис. 2.1, б) [3].

Частота обертання вала змінюється за допомогою перестановки шківів різних діаметрів. Вибір меж частоти обертання проводиться з умови рівності лінійної швидкості зовнішнього шнека 1,2 м/с. З урахуванням геометричних розмірів змішувача відношення діаметрів підібрані з такою умовою, щоб частота обертання вала змінювалася від 25 до 50 хв^{-1} з кроком 5 хв^{-1} .

Для вивчення впливу конструкційних параметрів на процес змішування змішувальні вузли було виготовлено з різними кроками, кутами і висотами витків зовнішнього і внутрішнього шнеків (рис. 2) [3].



а



б

Рис. 2.1. Діючий макет змішувача: а – загальний вигляд; б – схема; 1 – електродвигун; 2 – ремінна передача; 3 – підшипник; 4 – корпус; 5 – змішувальний вузол; 7 – рама; 8 – редуктор; 9 – скребки; 10, 11 – зовнішній і внутрішній шнеки.



Рис. 2.2. Змішувальні вузли з різними кроками зовнішнього та внутрішнього шнеків: а – $S_2 = 80$ мм; $S_3 = 120$ мм; б – $S_2 = S_3 = 120$ мм.

Змішувальний вузол змішувача (рис. 3) складається з вала 1, внутрішнього 2 і зовнішнього 3 стрічкових шнеків, скребків 4, що кріпляться до вала 1 за допомогою стрижнів 5. Скребки 4 виконані у вигляді витка спіралі з кроком, що дорівнює половині довжини бункера змішувача і діаметром, що дорівнює внутрішньому діаметру бункера змішувача [3].

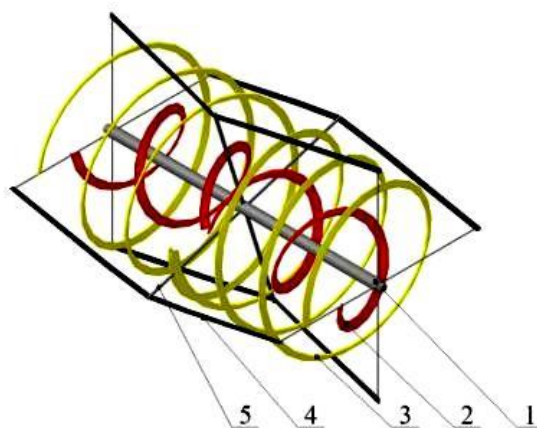


Рис. 2.3. Тривимірна модель змішувального вузла змішувача: 1 – вал; 2 – внутрішній стрічковий шнек; 3 – зовнішній стрічковий шнек; 4 – скребки; 5 – стрижні.

Експериментальний зразок змішувального вузла виконано таким чином, що під час його обертання скребки і внутрішній шнек здійснюють переміщення суміші від центру бункера до його бічних стінок (рис. 2.4), а зовнішній – від бічних стінок до центру бункера [3].

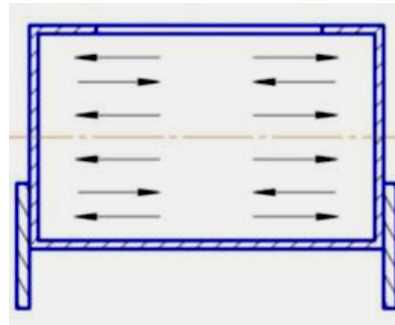


Рис. 2.4. Схема руху суміші в бункері.

Ґрунтуючись на теоретичних розрахунках, спочатку виготовлено змішувальний вузол із такими параметрами:

- зовнішній шнек: висота витків $h_2 = 50$ мм, діаметр по кінцях спіралі шнека $D_2 = 26$ мм і крок $S_2 = 80$ мм;

- внутрішній шнек: $h_3 = 75$ мм, $D_3 = 150$ мм, $S_3 = 120$ мм.

Для вивчення нагріву компонентів кормів, що ферментуються, виготовлено макет бункера, загальний вигляд і схему якого представлено на рис. 5.

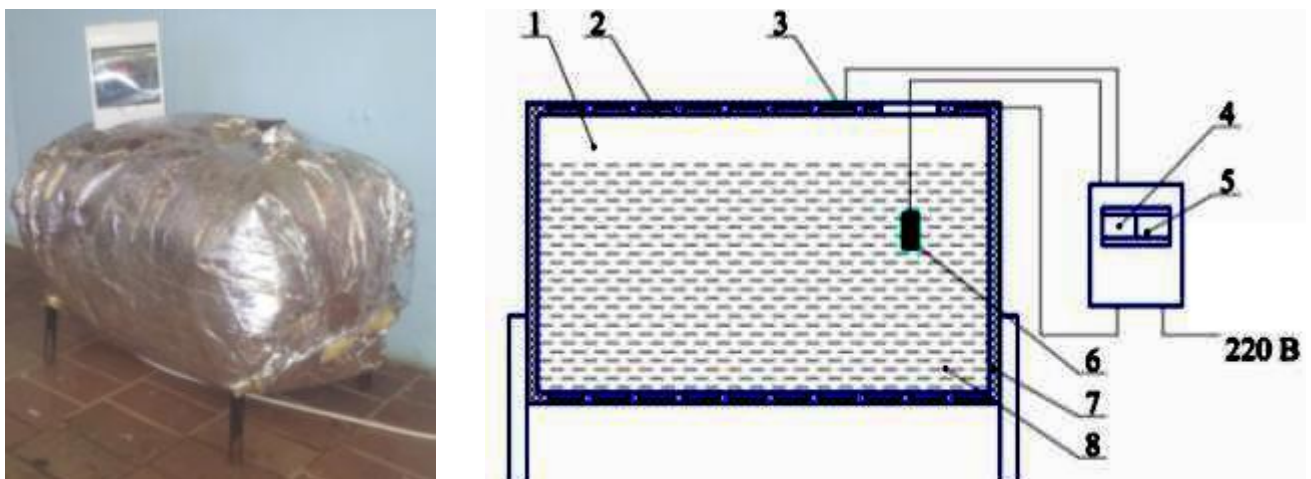


Рис. 2.5. Макет бункера змішувача: а – фото; б – схема.

Макет складається з ємності 1 циліндричної форми, на зовнішню поверхню якої покладено нагрівальну стрічку 2 типу ЕНГЛ-1 (180). Поверх нагрівальної стрічки нанесено шар теплоізоляції 7, що сприяє зниженню теплових втрат у навколишнє середовище і тим самим найінтенсивнішому нагріванню поживного середовища 8, яке міститься в бункері 1. Температури нагрівальної стрічки та поживного середовища контролюють датчики 3 (TST84) і 6 (TST81) відповідно, дані яких передають терморегулятору 5 (TL-11-250). Облік споживаної електроенергії здійснюється приладом 4 (TL-11-50); 6 – датчик температури кормової суміші (TST81); 7 – шар теплоізоляції; 8 – кормова суміш.

Схему під'єднання датчиків температури і нагрівальної стрічки до терморегулятора показано на рис. 2.6.

За допомогою кнопок управління 2 встановлюється необхідний режим роботи терморегулятора, а на екрані 1 відображається поточна температура кормової суміші.

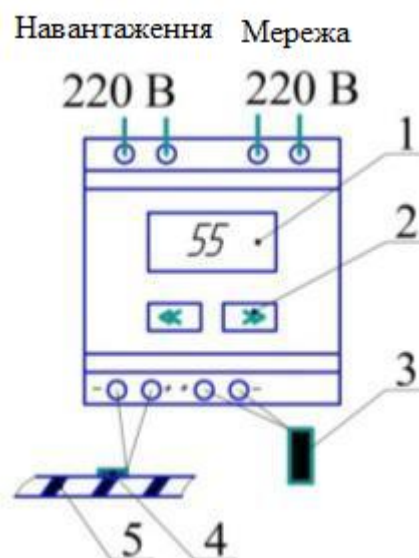


Рис. 2.6. Схема під'єднання нагрівальної стрічки ЕНГЛ-1(180) і датчиків температури до терморегулятора TL-11-250: 1 – екран із даними терморегулятора; 2 – кнопки встановлення режиму роботи терморегулятора; 3 – датчик температури живильного середовища TST81; 4 – датчик температури стрічки TST84; 5 – нагрівальна стрічка ЕНГЛ-1(180).

Виготовлено експериментальний зразок змішувача, креслення якого представлено на рис. 2.7, а на рис 2.8 – фото.

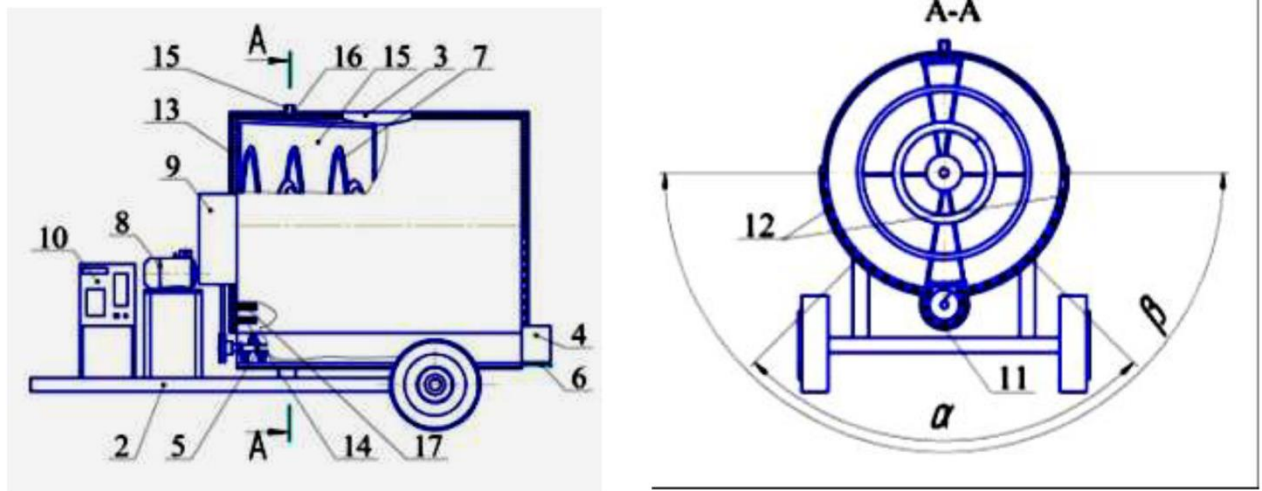


Рис. 2.7. Схема змішувача: 1 – бункер, 2 – рама; 3 – завантажувальне вікно; 4 – розвантажувальний патрубок; 5 – розвантажувальний шнек; 6 – заслінка; 7 – вузлик для змішування; 8 – електродвигун; 9 – редуктор; 10 – пульт управління; 11, 12 – нагрівальний елемент; 13 – шар теплоізоляції; 14 – датчик температури; 15 – патрубок подачі гарячої води; 16 – електромагнітний клапан; 17 – датчик вологості корму.



Рис. 2.8. Фотографія експериментального зразка змішувача

Змішувач-ферментатор кормів складається з бункера 1, встановленого на рамі 2, завантажувального вікна 3 і вивантажувального патрубку 4, вивантажувального шнека 5, заслінки 6, робочого органа 7, електродвигуна 8, редуктора 9, пульта керування 10, систем контролю й підтримання сталої температури та вологості живильного середовища.

Система контролю та підтримання постійної температури кормової суміші містить у собі щонайменше два нагрівальні елементи 11 і 12 (наприклад, теплову стрічку або мідний зміювик із теплоносієм), шар теплоізоляції 13, датчик температури 14 і реле температури [1].

Система контролю і підтримки вологості живильного середовища складається з подавального патрубку 15, електромагнітного клапана 16 і датчика вологості 17. Приймання та оброблення даних, що надходять від датчиків, керування робочими органами змішувача здійснює контролер, вбудований у пульт керування 10.

Під час приготування сипучих і вологих кормів змішувач працює так. На пульті керування 10 встановлюють перемикачі в режим змішування, встановлюючи при цьому необхідну частоту обертання вала змішувального вузла (залежить від матеріалів, що змішуються: сипучі або вологі). Через завантажувальне вікно 3 завантажують компоненти, які необхідно змішати, і вмикають змішувач. Через певний час змішування, за якого досягається необхідна якість суміші, відкривають заслінку 6, вмикають вивантажувальний шнек 5 і здійснюють вивантаження кормової суміші через вивантажувальний патрубок 4.

При приготуванні ферментованих кормів на пульті управління 10 встановлюють перемикачі в режим змішування, задаючи потрібну частоту обертання вала. Через завантажувальне вікно 3 завантажують заздалегідь подрібнений матеріал (наприклад, солону або дерть), що підлягає ферментуванню, додають заздалегідь підготовлену первинну закваску Леснова. При цьому спрацьовує датчик вологості 17 і подає сигнал контролеру, який своєю чергою відкриває електромагнітний клапан 16. Через подавальний патрубок 15 починає надходити гаряча вода (температура 48...80 °C). Коли суміш досягне заданої оптимальної вологості, спрацьовує датчик 17 і електромагнітний клапан 16 закривається, перекриваючи подачу гарячої води. Увесь цей час робочий орган 7 обертається, змішуючи додані в бункер 1 компоненти, тим

самим забезпечуючи їх рівномірний розподіл по всьому об'єму, зокрема й закваски. У результаті виходить кормова суміш, після одержання якої з необхідними оптимальними вологістю і температурою, змішування припиняють і встановлюють перемикачі на пульті керування 10 у режим ферментації.

У цьому режимі вмикається система автоматичного контролю та підтримання вологості й температури кормової суміші, за якої бактерії краще розвиваються, прискорюючи процес ферментації.

Робота системи контролю та підтримання постійної температури кормової суміші залежить від рівня заповнення нею бункера 1. За низького рівня заповнення (у разі, коли необхідно приготувати невелику кількість корму) працює лише один нагрівальний елемент (теплова стрічка) з кутом обхвату бункера α (рис. 2.7). Якщо необхідно приготувати більшу кількість корму, то спільно з першим нагрівальним елементом починає працювати другий. Тоді сумарний кут обхвату бункера 1 тепловою стрічкою становить β (рис. 2.7). У разі зниження температури живильного середовища нижче за оптимальне значення, спрацьовують датчик 14 і реле температури, вмикаючи нагрівальний елемент. Відбувається нагрівання живильного середовища. При досягненні заданої оптимальної температури датчик 14 подає сигнал, спрацьовує реле температури, відключаючи нагрівальний елемент. У такий спосіб відбувається підтримання оптимальної температури живильного середовища протягом усього процесу ферментації.

У режимі ферментації змішувач працює до моменту отримання повністю готового ферментованого корму. Скребки змішувального органу 7 крім переміщення матеріалу від центру до бічних стінок бункера 1 очищають циліндричну поверхню бункера 1, тим самим інтенсифікуючи процес теплообміну в кормовій суміші. Після закінчення ферментації готовий продукт вивантажують через вивантажувальний патрубок 4 за допомогою вивантажувального шнека 5, попередньо відкривши заслінку 6.

Вибір досліджуваних чинників проводили з урахуванням рекомендацій, наданих у численних роботах, присвячених дослідженням процесу змішування в змішувальних установках. Перед складанням плану експерименту призначали рівні варіювання. З метою відсіювання частини досліджуваних факторів спочатку реалізовувалися експерименти першого порядку. Для визначення оптимальних параметрів факторів, що залишилися, проводили експерименти другого порядку.

Доведено, що випадкові помилки підкоряються закону нормального розподілу [2], і під час проведення багаторазових вимірів однієї величини, результати мають перебувати в межах $\pm 3\sigma$. Оскільки довірна ймовірність становила 95 %, то досліди проводили в триразовій повторності.

З метою створення однакових умов під час проведення різних дослідів і унеможливлення появи систематичних помилок унаслідок впливу неконтрольованих чинників під час планування та проведення експерименту порядок проведення дослідів необхідно рандомізувати. Для цього використовують таблицю або генератор випадкових чисел [49].

Обчислення та оцінку значущості коефіцієнтів моделей регресій, перевірку адекватності моделей і побудову поверхонь відгуків та їхніх двовимірних перерізів проводили в програмі Portable Statgraphics Centurion 15.2.11.0 for Windows згідно з рекомендаціями [5]. Аналізований фактор вважали значущим за умови не перевищення його величиною *P-Value* (*p*-значення), що вказана в таблиці дисперсійного аналізу, числового значення, що дорівнює 0,05. Значимість кожного фактора, а також його взаємодій з іншими визначали за графіком Парето.

Пошук оптимальних параметрів під час оптимізації об'єкта досліджень проводили методом розв'язання компромісної задачі, результатом якої було визначення такого поєднання чинників, за яких досягаються мінімальні питомі енерговитрати на приготування одиниці корму за забезпечення необхідної якості готового продукту.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІШУВАЧА- ФЕРМЕНТОРА КОРМІВ ДЛЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ

Дослідження впливу конструкційних параметрів на робочі показники макета змішувача. Для підтвердження результатів теоретичних досліджень, спрямованих на визначення конструкційних параметрів макета змішувача, проведено експериментальні дослідження їхнього впливу.

З метою дослідження впливу часу змішування на критерії оптимізації експерименти проводили на різних частотах обертання змішувального вузла. Результати однофакторних експериментів із вивчення впливу частоти обертання змішувального вузла та часу змішування $t_{\text{на}}$ коефіцієнт неоднорідності v представлено у вигляді графіків (рис. 1) [2].

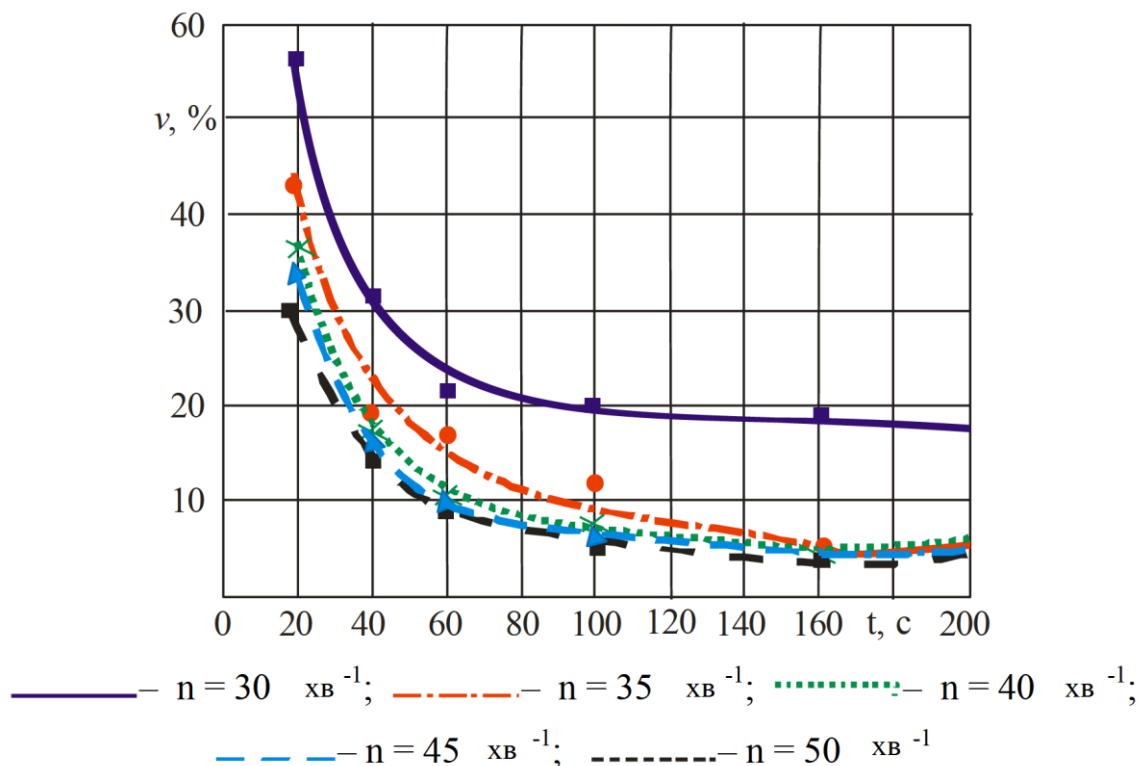


Рис. 3.1. Вплив частоти обертання змішувального органу на якість змішування [2].

Аналіз залежностей показує, що зі збільшенням частоти обертання змішувального органу, час змішування зменшується. Причому найбільший вплив має частота обертання в межах від 30 до 40 хв^{-1} на інтервалі 40...100 с.

Через 40 с після початку процесу змішування коефіцієнт неоднорідності суміші за $n = 40...50 \text{ хв}^{-1}$ досягав допустимих зоотехнічними вимогами норм $\nu = 15 \%$, а при збільшенні тривалості змішування впродовж ще 100 с він становив близько 5 % і надалі змінювався з незначними коливаннями. Тобто перші 40 с роботи спостерігалось конвективне змішування, далі воно протікало за рахунок явища дифузії, і після 160 с роботи спостерігали явище сегрегації.

За частоти обертання $n = 35 \text{ хв}^{-1}$ якість суміші, за якої $\nu = 15 \%$ досягається через 60...70 с після початку змішування, а $\nu = 5 \%$ - через 160 с.

За частоти обертання вала змішувача 30 хв^{-1} необхідна якість суміші не забезпечується навіть протягом 7 хв. роботи.

Аналізуючи отримані результати, можна зазначити, що зі збільшенням частоти обертання приводного вала змішувача з 40 до 50 хв^{-1} коефіцієнт варіації змінюється незначно. У зв'язку з цим побудовано залежності, що характеризують зміну питомих енерговитрат від частоти обертання в момент часу, за якого коефіцієнт неоднорідності суміші становив 5 і 15 % (рис. 3.2) [2].

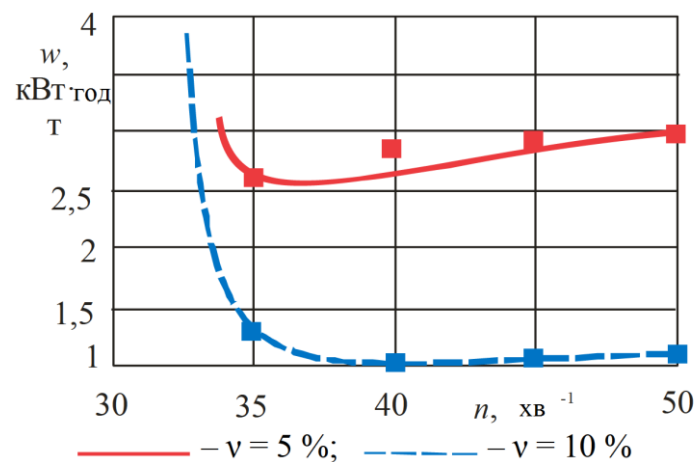


Рис. 3.2. Вплив n на питому енергоємність [2].

Як видно з графіків (рис. 2), найменша енергоємність спостерігається за $n = 35 \text{ хв}^{-1}$ (для $\nu = 5 \%$) і $n = 40 \text{ хв}^{-1}$ (для $\nu = 15 \%$), а зі збільшенням частоти

обертання спостерігається їхнє зростання, що пов'язано зі збільшенням опору змішувального матеріалу.

Під час проведення лабораторних досліджень визначено вплив кута θ конуса косої гелікоїди шнеків змішувального вузла. За результатами дослідів побудовано графіки, що характеризують вплив кута θ шнеків і частоти обертання вала (за $n = 35, 40, 45 \text{ хв}^{-1}$) на коефіцієнт неоднорідності (рис. 3.3) за часу змішування 100 с (в обраний період часу коефіцієнт неоднорідності відповідав зоотехнічним вимогам за $\theta = 90^\circ$ на всіх досліджуваних частотах обертання змішувального вузла) [2].

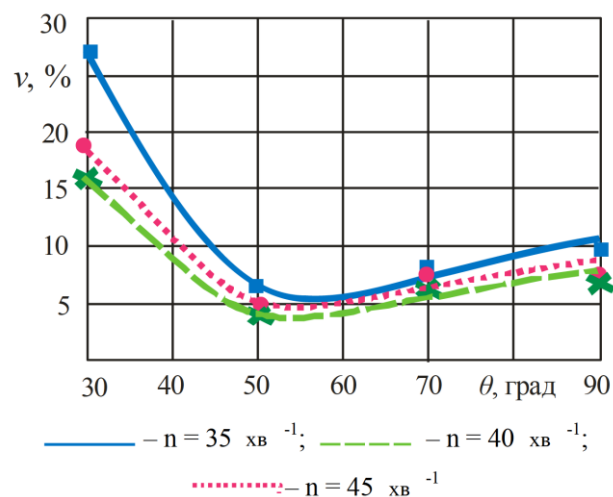


Рис. 3.3. Вплив кута θ конуса гелікоїди шнеків і пна на коефіцієнт неоднорідності суміші [2].

Як видно з графіків (рис. 3), зі збільшенням θ з 50 до 90° на всіх досліджуваних режимах коефіцієнт неоднорідності зростає на $52\text{...}67\%$.

За кута конуса гелікоїди, що дорівнює 30° , коефіцієнт варіації вищий за 15% . Це пов'язано зі зменшенням осьової сили, що призводить до погіршення умов змішування [2].

Найкращі результати досягаються при змішуванні шнеками з кутом-конуса гелікоїди 50° . Для порівняння енергоефективності побудовано порівняльні графіки для цього випадку за різних частот обертання (рис. 3.4) [2].

Питомі енерговитрати досягають найменшого значення за $n = 35 \text{ хв}^{-1}$ для $v = 15\%$ і $n = 45 \text{ хв}^{-1}$ для $v = 5\%$ і становлять відповідно $0,46$ і $1,2 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$.

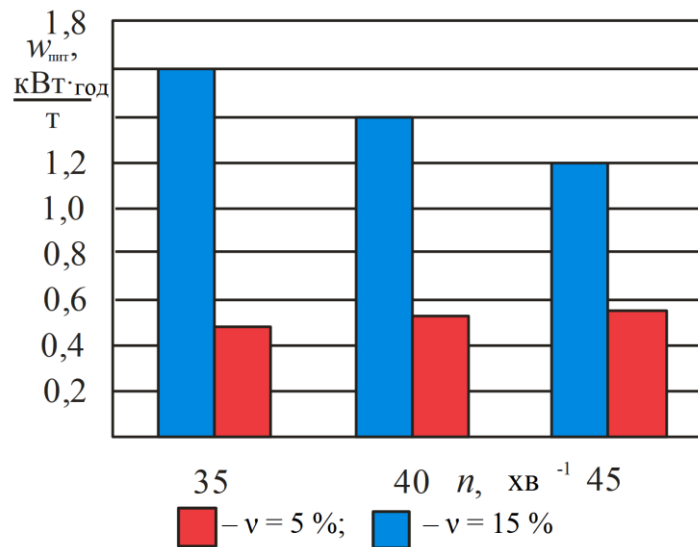


Рис. 3.4. Вплив n на питомі енерговитрати за використання шнеків із кутом θ конуса гелікоїда 50° [2].

Для дослідження впливу часу змішування на якість суміші проведено досліди зі шнеками з кутом θ конуса гелікоїда 50° за $n = 35, 40, 45$ хв $^{-1}$ (рис. 3.5). Найменший час змішування, за якого v становить 5 %, спостерігається за $n = 45$ хв $^{-1}$ і становить 80 с. За n , що дорівнює 40 і 35 хв $^{-1}$, час змішування, відповідно, 100 і 130 с [2].

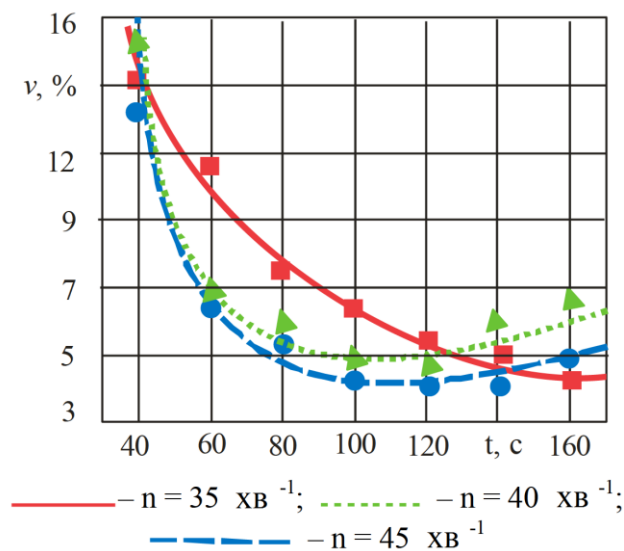


Рис. 3.5. Зміна коефіцієнта неоднорідності суміші за використання шнеків із кутом θ конуса гелікоїда 50° залежно від n і часу змішування [2].

У результаті проведених дослідів можна рекомендувати такі значення параметрів: $n = 45$ хв $^{-1}$, $\theta = 50^\circ$, час змішування $t = 60 \dots 100$ с [2].

Оптимізація параметрів змішувача для змішування сипучих кормів. З метою визначення оптимальних параметрів, що впливають на критерії роботи змішувача, було проведено багатофакторні експерименти за допомогою методів планування [2].

За попередніми дослідженнями було встановлено межі варіювання частоти обертання змішувального органа, кута конуса гелікоїда шнеків, часу змішування. Тому оптимізаційні експерименти проводили за таких значень цих параметрів:

- частота обертання змішувального органа $n = 45 \text{ хв}^{-1}$;
- кут конуса гелікоїда $\theta = 50^\circ$.

Як досліджувані фактори використовували висоту витків зовнішнього і внутрішнього шнеків h_2 і h_3 відповідно, крок витків S_2 зовнішнього і S_3 внутрішнього шнеків. Час змішування змінювали в межах $t = 60 \dots 100 \text{ с}$.

Якість роботи змішувача оцінювали коефіцієнтом неоднорідності v суміші та питомими енерговитратами $w_{\text{пит}}$.

Для виявлення ступеня значущості кожного з досліджуваних факторів і виключення незначущих було реалізовано напіврепліку повного факторного експерименту першого порядку для 5 факторів [2].

Після опрацювання результатів експерименту отримано адекватні моделі регресії, які описують вплив досліджуваних факторів на критерії роботи змішувача:

$$\begin{aligned}
 y_1 = & 7,43 - 0,55 \cdot x_1 - 0,1 \cdot x_2 + 0,57 \cdot x_3 - 0,83 \cdot x_4 - 1,38 \cdot x_5 - \\
 & - 0,03 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,04 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,01 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,1 \cdot x_1 \cdot x_5 - \\
 & - 0,01 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,01 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,2 \cdot x_2 \cdot x_5 - 0,02 \cdot x_3 \cdot x_4 - \\
 & - 0,32 \cdot x_3 \cdot x_5 + 0,08 \cdot x_4 \cdot x_5
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}
 y_2 = & 1,21 + 0,14 \cdot x_1 - 0,02 \cdot x_2 - 0,31 \cdot x_3 - 0,24 \cdot x_4 + 0,39 \cdot x_5 - \\
 & - 0,04 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,03 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,1 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0,003 \cdot x_1 \cdot x_5 - \\
 & - 0,05 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,06 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0,02 \cdot x_2 \cdot x_5 + 0,009 \cdot x_3 \cdot x_4 - \\
 & - 0,06 \cdot x_3 \cdot x_5 - 0,03 \cdot x_4 \cdot x_5
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Розрахунок оцінок коефіцієнтів регресійних моделей, оцінку їхньої значущості, перевірку адекватності отриманих моделей проводили на персональному комп'ютері в програмі Portable Statgraphics Centurion 15.2.11.0. Перевірка адекватності отриманих моделей показала, що моделі адекватно з 95 % довірчою ймовірністю описують досліджуваний процес і можуть бути прийняті для його опису [2].

Мінімальне значення, що дорівнює 4,3 %, коефіцієнт неоднорідності набуває за таких значень досліджуваних факторів: $x_1 = 1$ ($h_2 = 75$ мм), $x_2 = 0,996$ ($h_2 = 49$ мм), $x_3 = -1$ ($S_2 = 80$ мм), $x_4 = 1$ ($S_3 = 120$ мм), $x_5 = 1$ ($t = 120$ с). При цьому питомі енерговитрати становлять $w_{num} = 1,75$ кВт/год.

Аналізуючи отримані моделі, можна зазначити, що найбільший вплив на критерії оптимізації чинить фактор x_5 - час змішування, меншою мірою впливають кроки витків - фактори x_3 і x_4 . Висота витків внутрішнього (фактор x_1) і зовнішнього (фактор x_2) шнеків не чинить суттєвого впливу на критерії роботи змішувача, а в разі питомих енерговитрат є незначущим фактором і може бути зафіксована на максимальних значеннях - 75 і 50 мм відповідно.

Для оптимізації факторів x_3 , x_4 , x_5 було реалізовано експеримент другого порядку для трьох факторів.

Після реалізації дослідів і опрацювання отриманих результатів побудовано моделі регресії:

$$y_1 = 4,7 + 0,52 \cdot x_3 + 1,28 \cdot x_4 - 0,82 \cdot x_5 - 0,93 \cdot x_3^2 - 0,19 \cdot x_3 \cdot x_4 + 0,13 \cdot x_3 \cdot x_5 + 3,89 \cdot x_4^2 - 0,1 \cdot x_4 \cdot x_5 + 2,21 \cdot x_5^2 \quad (3.3)$$

$$y_2 = 0,99 - 0,34 \cdot x_3 - 0,34 \cdot x_4 + 0,4 \cdot x_5 + 0,29 \cdot x_3^2 + 0,25 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,31 \cdot x_3 \cdot x_5 + 0,19 \cdot x_4^2 - 0,29 \cdot x_4 \cdot x_5 + 0,03 \cdot x_5^2 \quad (3.4)$$

Аналізуючи карту Парето для рівняння (3), визначили статично незначущі ефекти - x_3x_4 , x_3x_5 і x_4x_5 . Найбільший вплив на коефіцієнт неоднорідності має фактор x_4 - крок витків S_3 внутрішнього шнека. Під час тестування на статистичну значущість кожного ефекту шляхом зіставлення середнього квадратичного відхилення з експериментальною помилкою виявлено, що б

ефектів мають значення p менше за 0,05, вказуючи на те, що вони суттєво відрізняються від нуля за 95,0 % рівня довіри. Ступінь достовірності апроксимації отриманої моделі регресії R_2 становив 99,72 % [2].

У результаті проведеного аналізу отриманих моделей регресії виявлено, що вони є адекватними і доволі повно відображають реальні залежності [2].

Мінімальне значення коефіцієнта неоднорідності в досліджуваній області спостерігається за $x_3 = -1,0$, $x_4 = -0,19$, $x_5 = 0,21$ і становить за цих значень $v = 3$ % [2].

Найбільший вплив на питомі енерговитрати чинить фактор x_5 – час змішування. Збільшення тривалості змішування призводить до зростання витрат електроенергії. Кроки витків шнеків впливають меншою мірою, їх збільшення спричиняє зниження критерію оптимізації. Незначущим ефектом у цьому разі виявився x_5^2 . Мінімальне значення критерію y_2 в досліджуваній області спостерігається за $x_3 = -0,02$, $x_4 = 0,14$, $x_5 = -1$ і становить за цих значень $w_{num} = 0,62$ кВт·год/т [2].

Після виключення незначущих ефектів моделі (3.3) і (3.4) набувають вигляд:

$$y_1 = 4,7 + 0,52 \cdot x_3 + 1,28 \cdot x_4 - 0,82 \cdot x_5 - 0,93 \cdot x_3^2 + 3,89 \cdot x_4^2 + 2,21 \cdot x_5^2 \quad (3.5)$$

$$y_2 = 1 - 0,34 \cdot x_3 - 0,34 \cdot x_4 + 0,4 \cdot x_5 + 0,29 \cdot x_3^2 + 0,25 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,31 \cdot x_3 \cdot x_5 + 0,19 \cdot x_4^2 - 0,29 \cdot x_4 \cdot x_5 \quad (3.6)$$

У результаті аналізу обидві моделі визнано адекватними і їх можна використовувати при описі зміни критеріїв оптимізації. Ступінь достовірності апроксимації моделей (5) і (6) R_2 склав відповідно 99,47 і 99,7 % [2].

Аналіз поверхонь відгуку показує, що якість суміші, що задовольняє зоотехнічні вимоги, досягається в ділянці, обмеженій значеннями: $x_3 = -1 \dots 1$, $x_4 = -0,8 \dots 0,4$, $x_5 = -0,6 \dots 1$. Коефіцієнт неоднорідності в цій області не перевищує 5 %.

З урахуванням мінімізації питомих енерговитрат у результаті накладення перерізів поверхонь відгуків отримано такі результати, за яких коефіцієнт

неоднорідності не перевищує 5 %, а питомі енерговитрати набувають найменшого значення: $x_3 = -0,4$ (що відповідає $S_2 = 105$ мм), $x_4 = 0,4$ ($S_3 = 135$ мм), $x_5 = -0,6 \dots -0,2$ ($t = 84 \dots 108$ с). При цьому питомі енерговитрати приймають значення, що не перевищують 1,15 кВт·год/т [2].

У результаті проведених досліджень виявлено оптимальні значення досліджуваних параметрів, за яких якість готової суміші, що складається з сипких матеріалів, відповідає зоотехнічним вимогам (однорідність суміші становить не менш як 95 %), а витрати електроенергії, необхідні для приготування 1т суміші, не перевищують 1,2 кВт·год/т [2]:

- частота обертання змішувального органа $n = 45$ хв⁻¹;
- кут конуса гелікоїда $\theta = 50^\circ$;
- висота витків зовнішнього шнека $h_2 = 50$ мм;
- висота витків внутрішнього шнека $h_3 = 75$ мм;
- крок витків S_2 зовнішнього шнека 105 мм;
- крок витків S_3 внутрішнього шнека 135 мм;
- час змішування $t = 84 \dots 108$ с.

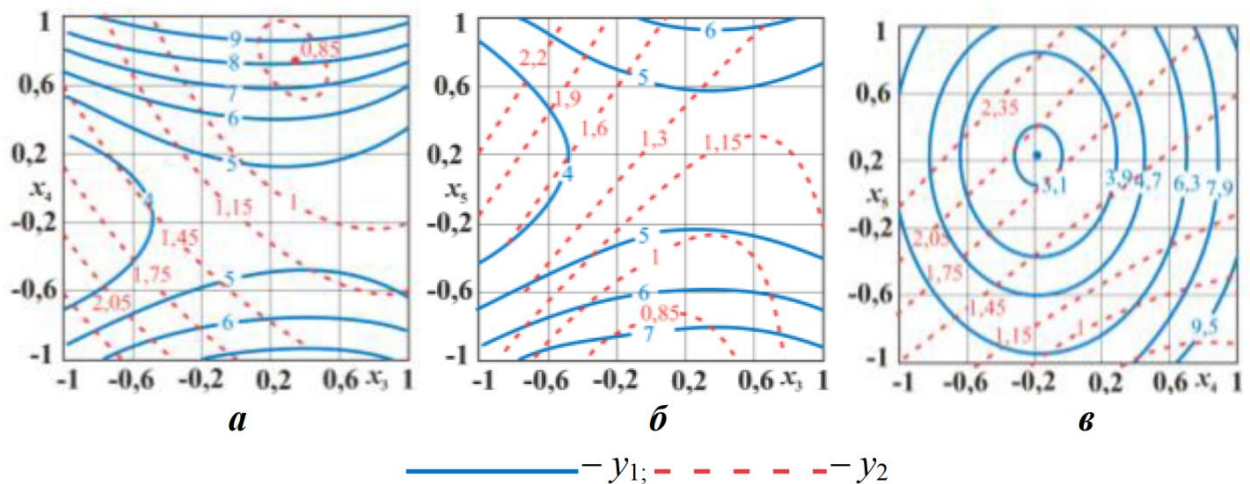


Рис. 3.6. Двовимірні перерізи поверхонь відгуків, що характеризують вплив на критерії оптимізації: а – кроків витків S_2 зовнішнього та S_3 внутрішнього шнеків; б – кроку витків S_2 зовнішнього шнека та часу змішування t ; в – кроку витків S_3 внутрішнього шнека та часу змішування t [2].

Другим етапом досліджень було вивчення змішування вологих кормів. Для цього проведено експерименти за знайдених оптимальних значень конструкційних параметрів змішувального вузла, за яких однорідність суміші сипких матеріалів досягає значення не менше 95 %.

Експерименти показали, що за цих конструкційних параметрів вологий корм не змішується, а під дією відцентрових сил рухається по периферії. У зв'язку з цим було прийнято рішення внести в конструкцію змішувача деякі зміни - зовнішні скребки з кроком $S_1 = 0,5 L$ замінити лопатками (рис. 3.7).

Щоб ефективність очищення стінок не зменшувалася, лопатки розташовували в шаховому порядку. З технологічної точки зору виникла необхідність у зменшенні частоти обертання.



Рис. 3.7. Змішувальний вузол із лопатками

Результати експериментальних досліджень представлено на графіках (рис. 3.8, а...3.8, г). Аналіз цих графіків показує, що зі зменшенням довжини лопаток коефіцієнт неоднорідності зменшується. Це пов'язано з поліпшенням умов змішування. Найкраща якість змішування спостерігається за $L = 40$ мм на всіх режимах роботи. Зі зменшенням довжини лопаток з 80 до 40 мм час змішування, необхідний для отримання якісного корму, зменшується. Це пов'язано з тим, що зі збільшенням відстані між лопатками сили зчеплення між частинками корму зменшуються, корм розсипається, одна частина його продовжує переміщатися

лопатками, а інша залишається в просторі між лопатками. Це зумовлює перемішування корму. У певний момент настають оптимальні умови змішування, і подальше зменшення довжини лопаток спричиняє збільшення часу змішування. Це пов'язано з тим, що довжини лопаток не вистачає для перекриття всієї довжини змішувача і на периферії бункера залишаються кільця корму, які не беруть участі в процесі змішування.

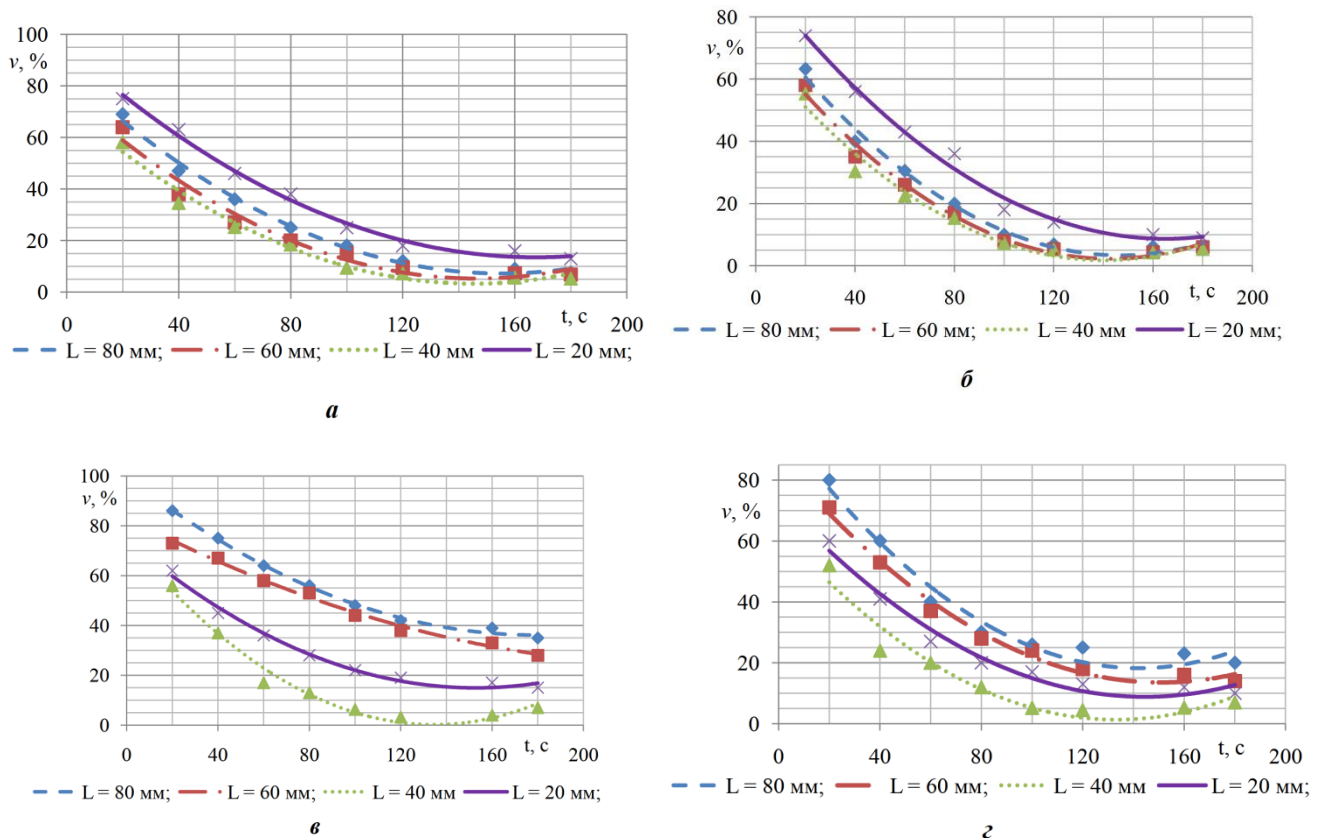


Рис. 3.8. Вплив довжини лопаток і часу змішування на коефіцієнт неоднорідності суміші: $a - n = 25 \text{ хв}^{-1}$; $б - n = 30 \text{ хв}^{-1}$; $в - n = 35 \text{ хв}^{-1}$; $г - n = 40 \text{ хв}^{-1}$.

Неоднозначним є вплив на якість змішування частоти обертання вала. Коефіцієнт неоднорідності $v = 15\%$ через 80...95 с після початку змішування на всіх режимах роботи (рис. 3.9). Але за $n = 25 \text{ хв}^{-1}$ $v = 15\%$ лише через 180 с, тоді як на інших режимах цей показник досягається за 110...120 с. Тому в подальших дослідженнях слід виключити вивчення впливу частоти обертання вала за $n = 25 \text{ хв}^{-1}$.

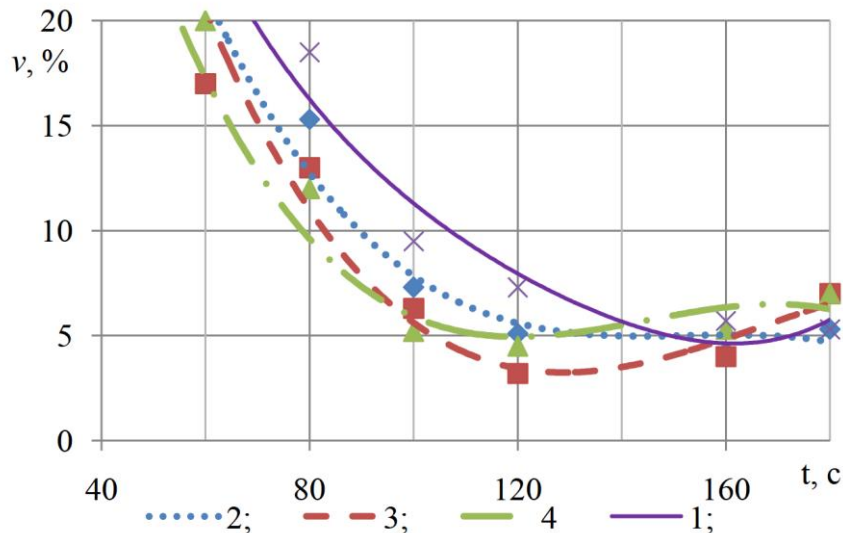


Рис. 3.9. Вплив часу змішування і частоти обертання на коефіцієнт неоднорідності при $L = 40$ мм: 1 – $n = 25 \text{ хв}^{-1}$; 2 – $n = 30 \text{ хв}^{-1}$; 3 – $n = 35 \text{ хв}^{-1}$; 4 – $n = 40 \text{ хв}^{-1}$.

Час змішування, за якого коефіцієнт неоднорідності не перевищує 15 %, залежно від частоти обертання вала становить 70...90 с. В інтервалі часу від 80 до 160 с якість суміші відповідає зоотехнічним вимогам. Зі збільшенням часу змішування понад 160 с настає процес сегрегації. Таким чином, час змішування вологих кормів, за якого якість суміші відповідає зоотехнічним вимогам, має становити 80...160 с.

У результаті виробничих випробувань встановлено такі характеристики змішувача:

1. При змішуванні вологих кормів:

- потужність електродвигуна змішувального вузла 6,1 кВт;
- частота обертання змішувального вузла 55 хв⁻¹;
- час змішування 5...8 хв.
- питомі енерговитрати на приготування 1,06 (кВт·год)/т;
- коефіцієнт неоднорідності не більше 15 %;
- продуктивність 10 т/год;

2. При змішуванні сухих кормів:

- потужність електродвигуна змішувального вузла 9,2 кВт;

- частота обертання змішувального вузла 65 хв^{-1} ;
 - час змішування $4,5 \dots 7 \text{ хв}$;
 - питомі енерговитрати на приготування $1,36 \text{ (кВт}\cdot\text{год)/т}$;
 - коефіцієнт неоднорідності не більш як 15% ;
 - продуктивність 12 т/год ;
3. рівень заповнення бункера 50% ;
 4. потужність двигуна вивантажувального шнека: 1 кВт .
 5. Час вивантаження: 1 хв .

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено конструкційне рішення змішувача компонентів, що дає змогу змішувати сухі та вологі корми з якістю, яка задовольняє зоотехнічні вимоги і з меншими енерговитратами.

Встановлено оптимальні значення параметрів змішувального вузла змішувача, за яких забезпечується необхідна якість змішування сипких і вологих кормів із мінімальними витратами електроенергії: кут гелікоїда шнеків $\theta = 50^\circ$; висота витків зовнішнього шнека $h_2 = 50$ мм; висота витків внутрішнього шнека $h_3 = 75$ мм; крок витків S_2 зовнішнього шнека 105 мм; крок витків S_3 внутрішнього шнека 135 мм; довжина лопаток $l = 32$ мм.

У випадку з перемішуванням сипучих кормів забезпечується необхідна частота обертання змішувального вузла 45 хв^{-1} , час змішування $t = 70 \dots 100$ с. За цих параметрів питомі енерговитрати не перевищують $0,9 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$. У разі перемішування вологих кормів питомі енерговитрати не перевищують значення $0,32 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$ за частоти обертання змішувального вузла $n = 30 \text{ хв}^{-1}$ і часу змішування $t = 110$ с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Куликівський В.Л., Острогляд В.О. Огляд змішувачів періодичної дії. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 298-303.
2. Куликівський В.Л., Острогляд В.О. Розробка лабораторної та експериментальної установки для обґрунтування основних параметрів змішувача ферментатора кормів. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 210-213.
3. Куликівський В.Л., Острогляд В.О. Дослідження змішувального вузла з теоретично визначеними конструкційними параметрами змішувача-ферментатора. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).
4. Дацишин О.В., Ткачук А.І., Гвоздєв О.В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв. Вінниця : Нова книга, 2008. 488 с.
5. Брагинець М.В. Дослідження фізико-механічних властивостей кормів. Вісник сільськогосподарської науки. 1999. № 1. С. 31-34.
6. Ковальов А.І. Способи і установка для обробки грубого корму тиском з обґрунтуванням параметрів і режимів її роботи: Автореф. дис...канд. техн. наук. Рязань, 1998. 17 с.
7. Шведик М.С. Механізація тваринництва. Методичні вказівки. Луцьк : Луцький НТУ, 2013. 88 с.
8. Шведик М.С. Практикум з механізації тваринництва. Навчальний посібник. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2013. 336 с.

9. Бойко І.Г. Машины та обладнання для тваринництва. Том1. Харків: ХНТУСГ, 2006. 230 с.
10. Хомик Н.І., Довбуш Т.А., Цьонь Г. Б. Машины та обладнання для тваринництва. Навчально-методичний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, ФОП Паляниця В. А., 2018. 100 с.
11. Fisher R.A. The Design of Experiments. 9th Edition. Hafner Press, 1971, First Published 1935. 256 p.
12. Kai-Tai Fang, Min-Qian Liu, Hong Qin, Yong-Dao Zhou. Theory and Application of Uniform Experimental Designs. Singapore: Springer, 2018. 312 p.
13. Kohavi R., Tang D. Trustworthy Online Controlled Experiments: A Practical Guide to A/B Testing. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. 200 p.
14. Maxwell S.E., Delaney H.D., Kelley K. Designing Experiments and Analyzing Data: A Model Comparison Perspective. 3rd Edition. New York, USA: Taylor & Francis, 2018. 1081 p.
15. Akritas Michael. Probability & Statistics with R for Engineers and Scientists. Pearson, 2015. 528 p.
16. Augustin T., Cozman F.G., Wheeler G. (Eds.) Reflections on the Foundations of Probability and Statistics: Essays in Honor of Teddy Seidenfeld. Springer, 2023. 358 p.
17. Abraham W.J. Methodism: A Very Short Introduction. Oxford University Press, 2019. 168 p.
18. Стрелкова Г.Г., Федосенко М.М., Замулко А.І., Іщенко О.С. Основи наукових досліджень. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 120 с.