



УДК 631.363

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-3-1

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНОГО
ЗМІШУВАЧА КОМБІКОРМІВ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ**

Алієв Ельчин Бахтияр огли, д.т.н., старший дослідник, професор
Кошулько Віталій Сергійович, к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри
Кочережко Назар Васильович, здобувач освітнього ступеня «Магістр»
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Elchyn Aliiev, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor
Vitalii Koshulko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting the Head of the Department
Nazar Kocherezhko, Master Student
Dnipro State Agrarian and Economic University

Останнім етапом підготовки кормових сумішей є змішування компонентів за допомогою спеціальних пристроїв – змішувачів безперервної або періодичної дії. З погляду зоотехніки важливо не лише включити в склад кормової суміші компоненти, передбачені раціоном, у необхідному співвідношенні, але й забезпечити рівномірне розподілення всіх компонентів по всьому об'єму суміші. Однорідність суміші забезпечує однакову поживну цінність корму у всіх частинах його об'єму.

В даний час при створенні нового покоління змішувачів сухих кормових сумішей віддається перевага змішувачам, що обертаються. Перевагами змішувачів даного типу порівняно зі стаціонарними змішувачами періодичної дії будь-якого типу є: скорочення часу при вивантаженні корму, повністю автоматизований цикл очищення камери, відсутність застійних зон і деталей, що труться.

Метою досліджень є визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів роторного змішувача періодичної дії і дослідження зміни однорідності суміші при варіюванням їх значеннями. Дослідження проводились в два етапи: чисельне моделювання і експериментальні дослідження.

Чисельне моделювання було реалізовано в програмному пакеті Simcenter Star-CCM+. В якості факторів дослідження приймаємо наступні параметри: кут нахилу лопаті α (0° , 45° , 90°), маса матеріалу m (0,1 кг, 0,2 кг, 0,3 кг), частота обертання n (30 об/хв, 60 об/хв, 90 об/хв), тривалість змішування t (1 хв, 3 хв, 5 хв).

Експериментальні дослідження проведені на лабораторній установці роторного змішувача періодичної дії.

У результаті чисельного моделювання і експериментальних досліджень процесу змішування в роторному змішувачі комбікормів періодичної дії встановлені залежності зміни коефіцієнта однорідності суміші в змішувачі h від куту нахилу лопаті α , маси матеріалу m , частоти обертання n , тривалості змішування t . Виконуючи умову максимізації однорідності суміші в програмному пакеті Wolfram Cloud, отримані раціональні параметри роторного змішувача комбікормів періодичної дії: $\alpha = 50,5^\circ$, $t = 4,415$ хв., $m = 0,11$ кг, $n = 43,9$ об/хв. При цьому коефіцієнт однорідності складає $h = 0,98$.

Ключові слова: комбікорми, приготування, змішування, параметри, моделювання експеримент, метод дискретних елементів, однорідність, ефективність, частота обертання, лопаті, кут нахилу, тривалість.

Ф. 3. Рис. 4. Літ. 16.

1. Постановка проблеми

Останнім етапом підготовки кормових сумішей є змішування компонентів за допомогою спеціальних пристроїв – змішувачів безперервної або періодичної дії [1].

З погляду зоотехніки важливо не лише включити в склад кормової суміші компоненти, передбачені раціоном, у необхідному співвідношенні, але й забезпечити рівномірне розподілення всіх компонентів по всьому об'єму суміші [2]. Однорідність суміші забезпечує однакову поживну цінність корму у всіх частинах його об'єму. Використання для годівлі тварин нерівномірних за складом сумішей суттєво знижує їх продуктивну дію [3]. Особливо важливо розподіляти в масі кормової суміші



компоненти, які вводяться у невеликих кількостях і мають високу кормову цінність або біологічну активність: комбікорми, БМВД, премікси, вітаміни, мікроелементи, лікарські препарати тощо [4].

Однорідність має велике значення, оскільки денний раціон, а особливо одноразове подання корму тваринам, зокрема птиці, дуже мале. У окремих випадках воно становить кілька десятків грамів. І в цій невеликій кількості корму повинні бути всі речовини, передбачені раціоном комбікормів, БМВД, преміксів тощо [5].

Рівномірність розподілу компонентів забезпечується їх змішуванням. Мета змішування – перетворити певний перелік компонентів на кормову суміш з певними властивостями. Інакше кажучи, змішування – це сукупність процесів спрямованого формування однорідних за складом, щільністю і фізико-механічними властивостями систем із набору необхідних компонентів [6].

В галузі тваринництва використовуються різноманітні типи змішувачів. Це обумовлено необхідністю створення кормових сумішей з різними фізико-механічними характеристиками компонентів: гранулометричним складом, щільністю, формою частинок, вологістю, консистенцією та іншими властивостями. Це обумовлювало актуальність проведення досліджень згідно вибраного напрямку.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

В даний час при створенні нового покоління змішувачів сухих кормових сумішей віддається перевага змішувачам, що обертаються. Перевагами змішувачів даного типу порівняно зі стаціонарними змішувачами періодичної дії будь-якого типу є: скорочення часу при вивантаженні корму, повністю автоматизований цикл очищення камери, відсутність застійних зон і деталей, що труться. Є можливість комбінувати деякі типові процеси, такі як застосування пари для теплової обробки, змішування будь-яких кормових матеріалів, незалежно від їхньої форми, змішування їх у малих дозах. Найголовніша перевага – простота конструкції змішувальної ємності [6–8].

Згідно з аналізу літературних джерел, роторне змішування недосконалих монодисперсних твердих частинок неминуче призводить до механічної сегрегації, тобто до накопичення менших або/або більш щільних частинок в ядрі шару. В роботі [9] ретельно проаналізували механізми сегрегації бінарної суміші дрібних і великих частинок. Розроблено аналітичну та чисельну модель для прогнозування розміру та протяжності відокремленого ядра у зв'язку з основними робочими параметрами, такими як діаметр барабана, глибина шару та швидкість обертання.

Дослідження [10] спрямовані на кількісну оцінку співвідношення між шириною активної зони та інтенсивністю сегрегації. У цьому дослідженні модель DEM була використана для імітації процесу змішування пластикових кульок однакового розміру (з двома видами кольору) в роторному барабанному змішувачі з різною швидкістю обертання і ступенем наповнення.

В роботі [11] експериментально вивчали сегрегацію, індуковану щільністю в роторному барабанному змішувачі для високих коефіцієнтів заповнення. Так, встановлено, що для високого коефіцієнта заповнення (понад 0,5) спостерігається дуже чіткий візерунок сегрегації в поперечній площині барабана.

Очевидним способом зменшення сегрегації, є вставка перегородок (лопатеї) всередину циліндра роторного змішувача. Однак розташування та конструкція лопатеї – це питання далеко не просте. В роботі [12] вивчено бідисперсні зернисті матеріали в квазидвовимірному (2-D) обертальному барабані за допомогою як моделювання, так і експериментів. Було розглянуто дві основні конфігурації лопатеї: центральне (осьове) розміщення та периферійне розміщення. Кілька лопатеї, прикріплених на периферії, якщо вони не дуже довгі, були неефективними для зменшення сегрегації, тоді як навіть одна плоска перегородка, розташована по осі, викликала величезне падіння як щільності, так і розміру, індукованого інтенсивністю сегрегації.

В дослідженнях [13] використовували також чисельне моделювання методом DEM для вивчення сегрегації дисперсних шарів в ротаційному змішуванні. Оригінальність цієї роботи полягала в тому, щоб розглянути суміш двох видів частинок з різною формою: кульок і циліндрів.

Враховуючи, проведений аналіз можна стверджувати про недостатній рівень досліджень процесу змішування компонентів кормів в роторному змішувачі періодичної дії.

3. Мета досліджень

Метою досліджень є визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів роторного змішувача періодичної дії і дослідження зміни однорідності суміші при варіюванням їх значеннями.

4. Виклад основного матеріалу

Дослідження проводились в два етапи: чисельне моделювання і експериментальні дослідження.

Чисельне моделювання було реалізовано в програмному пакеті Simcenter Star-CCM+ [14–16]. Процес змішування компонентів комбікорму відбувається в роторному змішувачі періодичної дії (Body), який обертається навколо осі симетрії. Досліджувалися три варіанти змішувачів: без лопатей ($\alpha = 0^\circ$), із похилими ($\alpha = 45^\circ$) та прямими ($\alpha = 90^\circ$) лопатями. Кількість лопатей – 8. В якості компонентів корму обрано два однакових компонента (comp 1 і comp 2), які мають наступні фізико-механічні властивості: коефіцієнт Пуассона (Poisson's Ratio) – 0,45, модуль Юнга (Young's Modulus) – 517000 Па, щільність (Density) – згідно варіанту. Подача компонентів комбікорму comp 1 і comp 2 здійснюється із частини блоків поверхневого рівня injector 1 і injector 2 відповідно. Розрахункова схема і геометричні розміри області процесу змішування приведена на рис. 1.

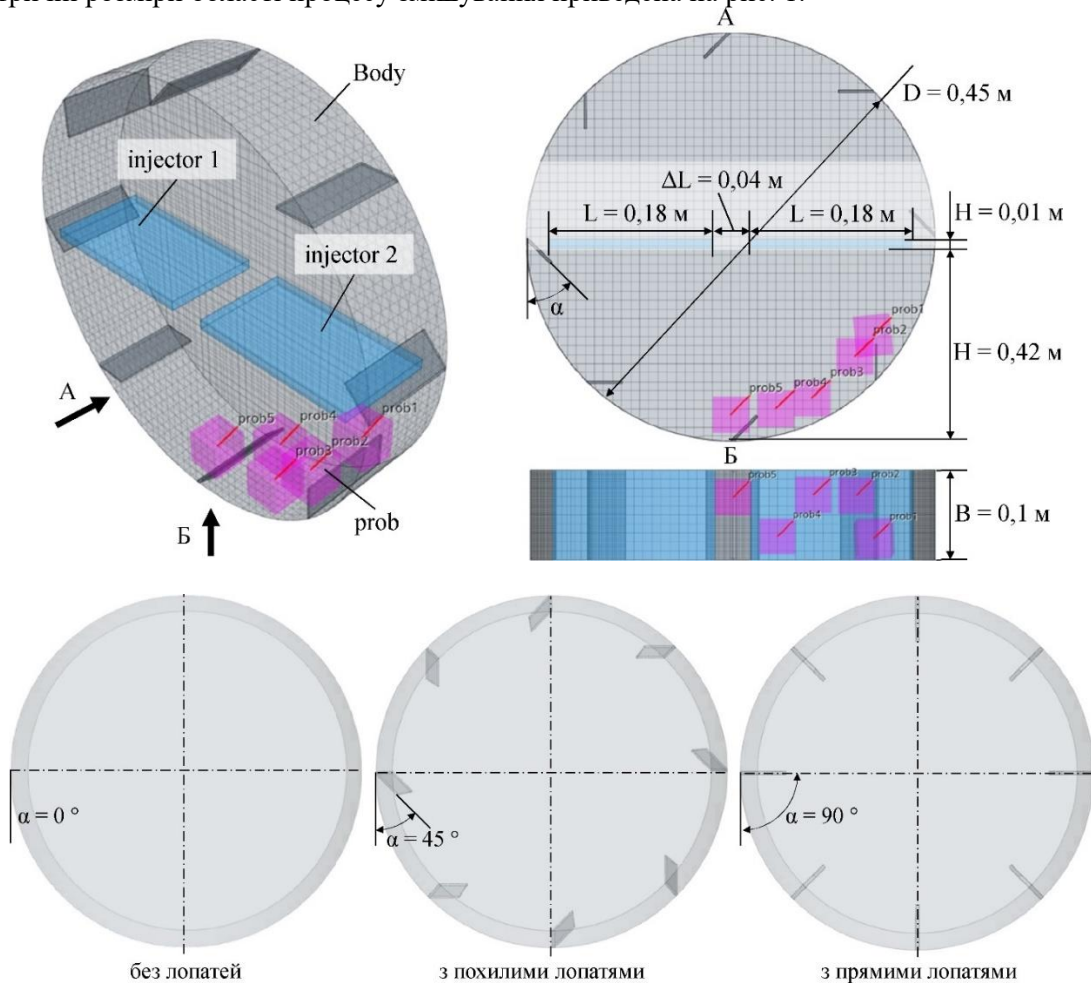


Рис. 1. Розрахункова схема дослідження процесу змішування компонентів комбікорму в роторному змішувачі комбікормів періодичної дії

В якості моделей сітки обрані наступні: тример (Timmer), генератор поверхневої сітки (Surface Remesher). Базовий розмір сітки (Base Size) повинен складати 0,01 м. Сітка області мала вигляд, як показано на рис. 1.

В якості фізичних моделей повинні обрані наступні: тривимірний (Three Dimensional), нестационарний неявний (Implicit Unsteady), газ (Gas), роздільна течія (Segregated Flow), градієнти (Gradients), постійна щільність (Constant Density), ламінарний (Laminar), Лагранжева багатофазність (Lagrangian Multiphase), модель дискретних елементів DEM (Discrete Element Model DEM), багатофазна взаємодія (Multiphase Interaction), сила тяжіння (Gravity).

В якості Лагранжевої фази (Lagrangian Phases) було задано два компоненти (comp 1 і comp 2) з наступними моделями: частинка DEM (DEM Particles), сила градієнта тиску (Pressure Gradient Force), сферичні частинки (Spherical Particles), суцільна (Solid), постійна щільність (Constant Density), час існування (Residence Time).



Створено всі можливі взаємодії компонентів між собою і стінками області: компонент 1 – компонент 1 (comp 1 – comp 1), компонент 1 – компонент 2 (comp 1 – comp 2), компонент 2 – компонент 2 (comp 2 – comp 2), компонент 1 – стінка (comp 1 – wall), компонент 2 – стінка (comp 2 – wall). В якості моделей обрані наступні: фазова взаємодія DEM (DEM Phase Interaction), Hertz Mindlin, опір кочення (Rolling Resistance).

Для області моделювання (Body) обрано тип рідка область (Fluid Region).

В опорних величинах (Reference Values) вектор сили тяжіння (Gravity) мав наступні координати (0,0; -9,81; 0,0) м/с².

Для подачі компонентів суміші створено два інжектора: інжектор 1 (Injector 1) і інжектор 2 (Injector 2). Інжектори мають тип випадкового інжектора (Random Injector) на границю частини: injector 1 і injector 2 (рис. 1). Умова встановлення упаковки частинок (Particle Packing Specification) – лічильник частинок (Particle Count). Діаметр частинок (Particle Diameter) – 0,003 м. Число частинок (Number of Particles) – згідно плану досліджень. Число затравок (Number of Seeds) – 100.

Параметри обертання циліндричному змішувачі (Body): обертання (Rotation), швидкість обертання (Rotation Rate) – $\$Time < 1 ? 0 : \$Time < 15 ? n : 0$ (n – частота обертання, згідно плану досліджень).

Параметри вирішувача (Solvers): крок за часом (Time-Step) – 0,01 с. Параметри критерію зупинки (Stopping Criteria): Максимальний фізичний час (Maximum Physical Time) – 16 с. Maximum Steps – вимкнено.

Для подальшої оцінки процесу створено відповідні звіти. Звіт comp1 – звіт числа елементів (Element Count). Частини (Parts) – comp 1. З цього звіту створюється анотація (Annotations) – comp1. В параметрах тексту (Text) вказані component 1 – $\$comp1Report pcs$. Аналогічним чином створювався звіт comp 2.

Критерієм якості змішування є однорідність суміші в області, яку визначали наступним чином. Створені 5 проб відбору (prob), шляхом встановлення 5 проріджених об'ємів (Resampled Volume) – prob1, prob2, prob3, prob4, prob5. Розмір (Size) кожного з них складав – 0,04 м × 0,04 м × 0,04 м. Частини (Parts) – Body. Всі інші параметри були довільними, однак проби відбору (prob) повинні знаходитися в області Body, як показано на рис. 1.

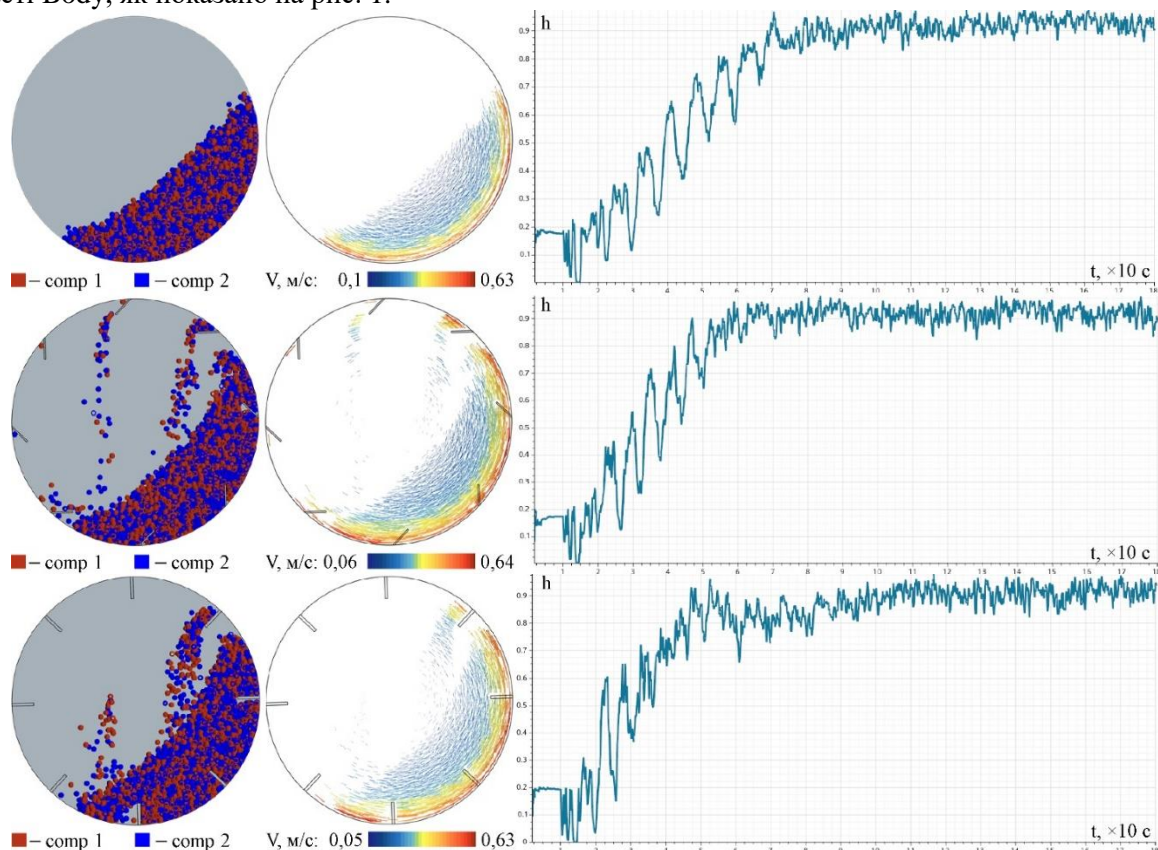


Рис. 2. Візуалізація процесу змішування компонентів комбікорму в роторному змішувачі періодичної дії ($m = 0,2 \text{ кг}$, $n = 30 \text{ об/хв}$, $t = 3 \text{ хв}$)



В кожній пробі відбору (prob) визначали масу частинок компонентів. Далі за наступною формулою розрахувати коефіцієнт однорідності суміші:

$$h = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_{1i} - V_{2i}|}{V_{1i} + V_{2i}} \quad (1)$$

де V_1 – маса частинок першого компонента в i -ій пробі; V_2 – маса частинок другого компонента в i -ій пробі; i – порядковий номер проби; N – кількість проб.

В результаті моделювання отримано дві сцени відображення результатів (скалярна і векторна) і графік динаміки зміни коефіцієнта однорідності суміші (рис. 2).

В якості факторів дослідження приймаємо наступні параметри: кут нахилу лопаті α (0° , 45° , 90°), маса матеріалу m (0,1 кг, 0,2 кг, 0,3 кг), частота обертання n (30 об/хв, 60 об/хв, 90 об/хв), тривалість змішування t (1 хв, 3 хв, 5 хв). Моделювання проведено за повнофакторним планом із загальною кількістю дослідів $3^4 = 81$.

Експериментальні дослідження проведені на лабораторній установці роторного змішувача періодичної дії, схема і загальний вигляд якої наведено на рис. 3.

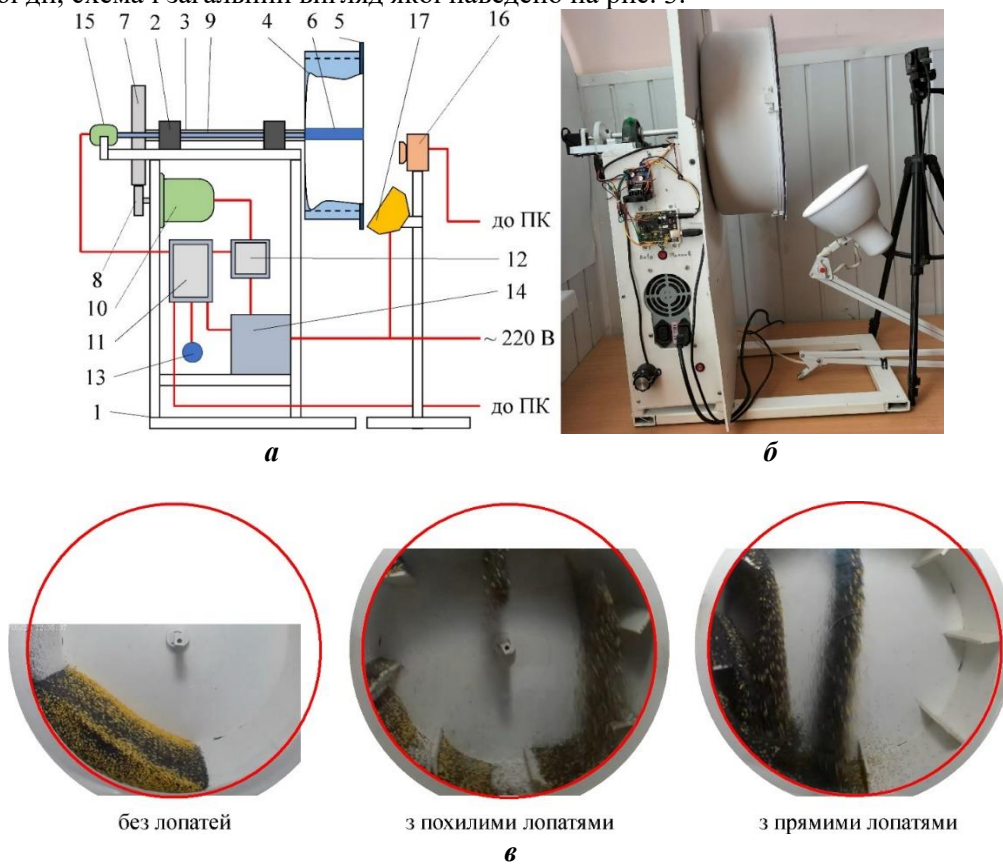


Рис. 3. Схема (а), загальний вигляд (б) лабораторної установки роторного змішувача періодичної дії і результат фотофіксації процесу змішування (в):

1 – станина; 2 – підшипники; 3 – порожній вал; 4 – циліндр; 5 – скляна кришка; 6 – лопаті; 7 – шків відомий; 8 – шків ведучий; 9 – суцільний вал; 10 – електродвигун постійного струму; 11 – плата керування Arduino UNO; 12 – драйвер електродвигуна постійного струму L298N; 13 – потенціометр; 14 – блок живлення; 15 – сервопривід; 16 – камера Aspiring Repeat 4 Ultra HD 4K Dual Screen; 17 – лампа холодного білого освітлення (5000–6500К)

Фактори досліджень і їх діапазони були обрані такі самі, як при чисельному моделюванні.

Кут нахилу лопатей α змінювали шляхом установки їх в циліндрі використовуючи шаблони. Для зміни частоти обертання циліндра використано плату керування Arduino UNO і драйвер електродвигуна постійного струму L298N. Керування частотою обертання циліндра здійснювалося в ручному режимі з використанням потенціометра. Контроль за частотою обертання циліндра здійснено тахометром контактним Venetech GM8906. Маса матеріалу m , який завантажувався у змішувач визначали з використанням електронних ваг JD-2200-2 виробництва ТОВ «Центровес» (абсолютна



похибка вимірювання 0.01 г). Тривалість змішування t визначали з використання секундоміра.

Додатково фіксувалося відео процесу змішування з використанням відеокамери Aspiring Repeat 4 Ultra HD 4K Dual Screen.

Критерієм якості змішування є однорідність суміші в змішувачі, яку визначали за формулою (1). Загальна кількість відібраних проб для кожного дослідження складала 5. Відбір проб здійснювався циліндричним пробовідбірником.

В якості змішуваного матеріалу використовувалося два різних компонента – мак і пшоно, які змішувалися в рівних пропорціях. Такий вибір зроблено лише для візуальної оцінки процесу змішування.

З використанням програмного пакету Wolfram Cloud проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено рівняння залежності в розкодованому вигляді без не значущих коефіцієнтів однорідності суміші в змішувачі:

– результати чисельного моделювання

$$h_t = 0,687784 + 0,00181691 \alpha - 0,0000139534 \alpha^2 + 0,366722 m + 0,000788889 \alpha m - 2,04889 m^2 + 0,0051275 n - 8,84568 \cdot 10^{-6} \alpha n - 0,0000525617 n^2 + 0,055 t - 0,00625 t^2, \quad (2)$$

– результати експериментальних досліджень

$$h_e = 0,738414 + 0,00165002 \alpha - 0,000017396 \alpha^2 + 0,489763 m + 0,00225552 \alpha m - 2,54355 m^2 + 0,0025826 n - 6,299 \cdot 10^{-6} \alpha n - 0,0000262277 n^2 + 0,0595471 t - 0,00677906 t^2. \quad (3)$$

З урахуванням умови максимального значення однорідності суміші знайдені раціональні параметри змішувача. Для результатів чисельного моделювання: $\alpha = 53,9^\circ$, $t = 4,45$ хв., $m = 0,10$ кг, $n = 44,2$ об/хв. Для результатів експериментальних досліджень: $\alpha = 47,1^\circ$, $t = 4,38$ хв., $m = 0,12$ кг, $n = 43,6$ об/хв. Як видно, раціональні значення отримані в результаті моделювання і експерименту дуже близькі. Тому будемо вважати, що їх середнє значення є істинним: $\alpha = 50,5^\circ$, $t = 4,415$ хв., $m = 0,11$ кг, $n = 43,9$ об/хв. Для порівняння і візуалізації отриманих залежностей (2) і (3) побудуємо відповідні поверхні відгуку (рис. 4).

З рис. 4 видно достатньо близьке розташування графіків для теоретичних (2) і експериментальних (3) залежностей. Статистичне порівняння за коефіцієнтом кореляції Пірсона залежностей (2) і (3) в межах варіювання факторами дає також достатньо високий результат – 0,97.

Зі збільшенням маси матеріалу m , який необхідно змішати однорідність h зменшується. Це перш за все пов'язано із масою відібраної проби. Так як маса проби для всіх досолів є однаковою (4 г), то для маси матеріалу 0,1 кг вона складає 4 %, а для маси 0,3 кг – 1,3 %.

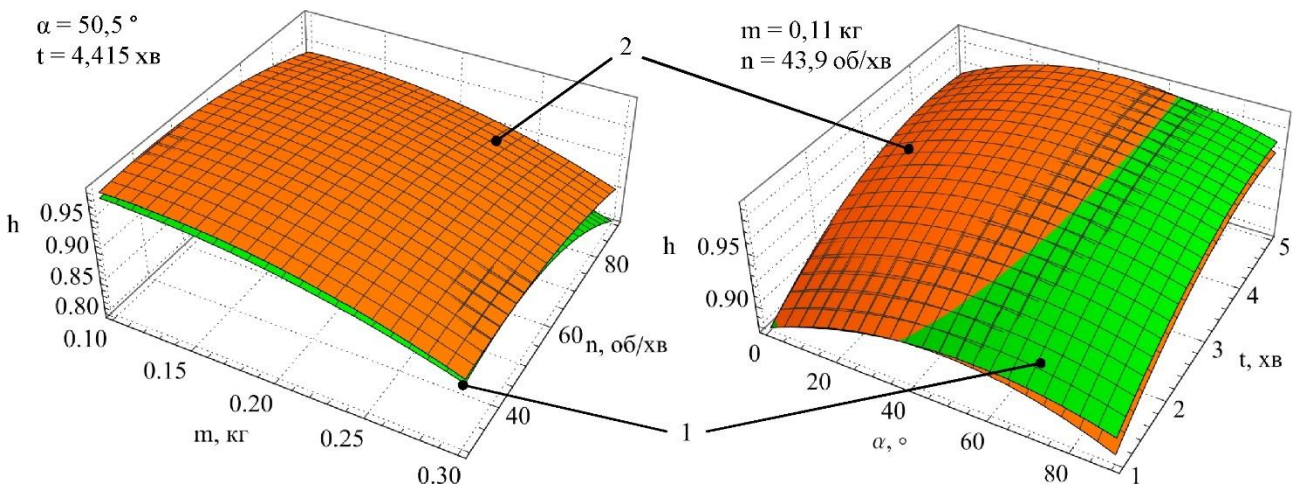


Рис. 4. Теоретичні (1) і експериментальні (2) залежності зміни коефіцієнта однорідності суміші в змішувачі h від куту нахилу лопати α , маси матеріалу m , частоти обертання n , тривалості змішування t

Зі збільшенням частоти обертання циліндра n змішувача спостерігається оптимуму для однорідності h . Це можна пояснити наступним чином. Мала частота обертання практично не



перевертає шари суміші. А при високій частоті обертання діє відцентрова сила, яка фіксує матеріал вздовж стінок циліндра, що також призводить до зменшення ефективності перерозподілу шарів суміші в змішувачі.

При збільшенні часу змішування t спостерігається фіксація значення однорідності h і навіть не велике її спадання. Це свідчить про початок процесу сегрегації суміші.

Для кута нахилу лопаті α існує оптимум при якому однорідність суміші h є максимальною. Це перш за все пов'язано із можливістю лопаті переміщувати матеріал в верхня положення циліндра, де від вивільнюється і падає на матеріал, який знаходиться в нижній частині циліндра. Як видно з рис. 3 у змішувачі без лопатей (або $\alpha = 0^\circ$) зазначеного процесу не відбувається. З прямими лопатями ($\alpha = 90^\circ$) матеріал вивільняється у самій верхній точці змішувача, а з похилими далі по напрямку обертання. Окрім цього, зрозуміло, що чим менше кут нахилу, тим менша маса матеріалу потрапляє на лопать, а відповідно до цього якість змішування покращується. Тому таке протиставлення процесів призводить до виникнення оптимуму.

4. Висновки

У результаті чисельного моделювання і експериментальних досліджень процесу змішування в роторному змішувачі комбікормів періодичної дії встановлені залежності зміни коефіцієнта однорідності суміші в змішувачі h від куту нахилу лопаті α , маси матеріалу m , частоти обертання n , тривалості змішування t . Виконуючи умову максимізації однорідності суміш в програмному пакеті Wolfram Cloud, отримані раціональні параметри роторного змішувача комбікормів періодичної дії: $\alpha = 50,5^\circ$, $t = 4,415$ хв., $m = 0,11$ кг, $n = 43,9$ об/хв. При цьому коефіцієнт однорідності складає $h = 0,98$.

Список використаних джерел

1. Новгородська Н. В., Овсієнко С. М., Соломон А. М. Корми, м'ясо, вироби із свинини. Вінниця : ТОВ «Друк», 2021. 172 с.
2. Єгоров Б. В., Шаповаленко О. І., Макаринська А. В. Технологія виробництва преміксів : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 288 с.
3. Ібатуллін І. І., Мельничук Д. О., Богданов Г. О. Годівля сільськогосподарських тварин : підручник. Вінниця : Нова книга, 2007. 612 с.
4. Бомко В. С., Сиваченко Є. В., Сметаніна О. В. Корми і кормові добавки та ефективність їх використання в годівлі тварин : навч. посіб. Біла Церква, 2023. 225 с.
5. Бегма Н. А. Використання кормів: навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ, 2018. 168 с.
6. Алієв Е. Б., Миколенко С. Ю., Сова Н. А. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми : колективна монографія / за заг. ред. Е. Б. Алієва. Дніпро: ЛІРА, 2022. 192 с.
7. Кісільов Р. В., Матвеев К. Д., Лузан П. Г. Дослідження технологічної ефективності змішування кормів двоступеневим одновальним комбінованим змішувачем періодичної дії. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2013. № 43 (II). С. 108–112.
8. Shevchenko I., Aliiev E. Improving the efficiency of the process of continuous flow mixing of bulk components. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6/1, № 108. P. 6–13. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216409
9. Mesnier A., Peczkalski R., Mollon G., Vessot-Crastes S. Mixing of Bi-Dispersed Milli-Beads in a Rotary Drum. *Mechanical Segregation Analyzed by Lab-Scale Experiments and DEM Simulation*. 2020. Vol. 8, № 9: 1166. DOI: 10.3390/pr8091166
10. Xiao X., Tan Y., Zhang H., Deng R., Jiang S. Experimental and DEM studies on the particle mixing performance in rotating drums : Effect of area ratio. *Powder Technol.* 2017. Vol. 314. P. 182–194. DOI: 10.1016/j.powtec.2017.01.044
11. Liao C. C., Hsiaub S. S., Nien H. C. Effects of density ratio, rotation speed, and fill level on density-induced granular streak segregation in a rotating drum. *Powder Technol.* 2015. Vol. 284. P. 514–520. DOI: 10.1016/j.powtec.2015.07.030
12. Vargas W. L., Hajra S. K., Shi D., McCarthy J. J. Suppressing the Segregation of Granular Mixtures in Rotating Tumblers. *AIChE J.* 2008. Vol. 54. P. 3124–3132. DOI: 10.1002/aic.11640
13. Maione R., De Richter S. K., Mauviel G., Wild G. DEM investigation of granular flow and binary mixture segregation in a rotating tumbler: Influence of particle shape and internal baffles. *Powder Technol.* 2015. Vol. 286. P. 732–739. DOI: 10.1016/j.powtec.2015.09.011



14. Simcenter STAR-CCM+ 2021.3. Verification Suite. 2021. 333 p.
15. Simcenter STAR-CCM+. Help. User guide, tutorials, knowledge base, and tech support. 2022.
16. Aliiev E., Lupko K., Kobets O. Development of adaptive seed-separation trier for small-seeded crops. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering*. 2023. Vol. 16, № 65. P. 103–126. DOI: 10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.1.8

References

- [1] Novhorods'ka, N.V., Ovsiyenko, S.M., Solomon, A.M. (2021). *Kormy, m'yaso, vyroby iz svynyny [Fodder, meat, pork products]*. Vinnytsya : TOV «Druk». [in Ukrainian].
- [2] Yehorov, B.V., Shapovalenko, O.I., Makaryns'ka, A.V. (2007). *Tekhnolohiya vyrobnytstva premiksiv: pidruchnyk [Premix production technology: a textbook]*. Kyiv : Tsentri uchbovoyi literatury. [in Ukrainian].
- [3] Ibatullin, I.I., Mel'nychuk, D.O., Bohdanov, H.O. (2007). *Hodivlya sil's'kohospodars'kykh tvaryn: pidruchnyk [Feeding of farm animals: a textbook]*. Vinnytsya : Nova knyha. [in Ukrainian].
- [4] Bomko, V.S., Syvachenko, YE.V., Smetanina, O.V. (2023). *Kormy i kormovi dobavky ta efektyvnist' yikh vykorystannya v hodivli tvaryn: navch. Posibnyk [Fodder and feed additives and the effectiveness of their use in animal feeding: training. manual]*. Bila Tserkva. [in Ukrainian].
- [5] Behma, N. A. (2018). *Vykorystannya kormiv: navchal'nyy posibnyk [The use of fodder: a study guide]*. Dnipro : DDAEU. [in Ukrainian].
- [6] Aliiev, E.B., Mykolenko, S.Yu., Sova, N.A. (2022). *Tekhniko-tekhnologichne zabezpechennya bezvidkhodnoyi pererobky zernovoyi syrovyny u kharchovi produkty i kormy: kolektyvna monohrafiya [Technical and technological support of waste-free processing of grain raw materials into food products and fodder: collective monograph] / za zah. red. E. B. Aliieva*. Dnipro : LIRA. [in Ukrainian].
- [7] Kisil'ov, R.V., Matvyeyev, K.D., Luzan, P.H. (2013). Doslidzhennya tekhnologichnoyi efektyvnosti zmishuvannya kormiv dvostupenevym odnoval'nym kombinovanim zmishuvachem periodychnoyi diyi [Study of the technological efficiency of feed mixing with a two-stage single-phase combined mixer of periodic action]. *Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya sil's'kohospodars'kykh mashyn, 43 (II)*. 108–112. [in Ukrainian].
- [8] Shevchenko, I., Aliiev, E., (2020). Improving the efficiency of the process of continuous flow mixing of bulk components. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/1 (108)*. 6–13. DOI : 10.15587/1729-4061.2020.216409. [in English].
- [9] Mesnier, A., Peczalski, R., Mollon, G., Vessot-Crastes, S. (2020). Mixing of Bi-Dispersed Milli-Beads in a Rotary Drum. *Mechanical Segregation Analyzed by Lab-Scale Experiments and DEM Simulation, 8 (9)*. 1166. DOI : 10.3390/pr8091166. [in English].
- [10] Xiao, X., Tan, Y., Zhang, H., Deng, R., Jiang, S. (2017). Experimental and DEM studies on the particle mixing performance in rotating drums : Effect of area ratio. *Powder Technol, 314*. 182–194. DOI: 10.1016/j.powtec.2017.01.044. [in English].
- [11] Liao, C.C., Hsiaub, S.S., Nien, H.C. (2015). Effects of density ratio, rotation speed, and fill level on density-induced granular streak segregation in a rotating drum. *Powder Technol, 284*. 514–520. DOI: 10.1016/j.powtec.2015.07.030. [in English].
- [12] Vargas, W.L., Hajra, S.K., Shi, D., McCarthy, J.J. (2008). Suppressing the Segregation of Granular Mixtures in Rotating Tumblers. *AIChE J., 54*. 3124–3132. DOI: 10.1002/aic.11640. [in English].
- [13] Maione, R., De Richter, S.K., Mauviel, G., Wild, G. (2015). DEM investigation of granular flow and binary mixture segregation in a rotating tumbler: Influence of particle shape and internal baffles. *Powder Technol, 286*. 732–739. DOI: 10.1016/j.powtec.2015.09.011. [in English].
- [14] Simcenter STAR-CCM+ 2021.3. Verification Suite. (2021). 333 p. [in English].
- [15] Simcenter STAR-CCM+. Help. User guide, tutorials, knowledge base, and tech support. (2022). [in English].
- [16] Aliiev, E., Lupko, K., Kobets, O. (2023). Development of adaptive seed-separation trier for small-seeded crops. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering, 16 (65)*. 103–126. DOI: 10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.1.8 [in English].

JUSTIFICATION OF THE DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE ROTOR MIXER OF PERIODIC ACTION COMBINED FEED

The last stage of preparation of fodder mixtures is mixing of components with the help of special devices - mixers of continuous or periodic action. From the point of view of zootechnics, it is important not



only to include in the fodder mixture the components provided for by the diet in the required ratio, but also to ensure an even distribution of all components throughout the volume of the mixture. The homogeneity of the mixture ensures the same nutritional value of the feed in all parts of its volume.

Currently, when creating a new generation of mixers for dry fodder mixtures, preference is given to rotating mixers. The advantages of mixers of this type compared to stationary intermittent mixers of any type are: a reduction in feed unloading time, a fully automated chamber cleaning cycle, the absence of stagnant zones and rubbing parts.

The purpose of the research is to determine the rational structural and technological parameters of the intermittent rotary mixer and to study the change in the homogeneity of the mixture when varying their values. Research was conducted in two stages: numerical modeling and experimental research.

Numerical simulation was implemented in the Simcenter Star-CCM+ software package. As research factors, we accept the following parameters: angle of inclination of the blade α (0° , 45° , 90°), mass of material m (0.1 kg, 0.2 kg, 0.3 kg), rotation frequency n (30 rpm min, 60 rpm, 90 rpm), mixing duration t (1 min, 3 min, 5 min).

Experimental studies were carried out on a laboratory installation of a periodic rotary mixer.

As a result of numerical modeling and experimental studies of the mixing process in a rotary mixer of batch feed, the dependences of the change in the homogeneity coefficient of the mixture in the mixer h on the angle of inclination of the blade α , the mass of the material m , the rotation frequency n , and the duration of mixing t were established. By fulfilling the condition of maximizing the homogeneity of the mixture in the Wolfram Cloud software package, the rational parameters of the rotary compound feed mixer of periodic action were obtained: $\alpha = 50.5^\circ$, $t = 4.415$ min., $m = 0.11$ kg, $n = 43.9$ rpm. At the same time, the homogeneity coefficient is $h = 0.98$.

Key words: compound feed, preparation, mixing, parameters, modeling experiment, method of discrete elements, uniformity, efficiency, frequency of rotation, blades, angle of inclination, duration.

F. 3. Fig. 4. Ref. 16.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Алієв Ельчин Бахтияр огли – доктор технічних наук, старший дослідник, професор кафедри інжинірингу технічних систем Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: aliev@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>)

Кошулько Віталій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри харчових технологій Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: vitaliykoshulko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0744-6318>)

Кочережко Назар Васильович – здобувач освітнього ступеня «Магістр» Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: nazar.kocherezhko@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-6019-4067>).

Aliiev Elchyn – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of the Departments of Mechanization of Production Processes in Animal Husbandry of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: aliev@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>).

Vitalii Koshulko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting the Head of the Department of Mechanization of Production Processes in Animal Husbandry of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: vitaliykoshulko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0744-6318>).

Nazar Kocherezhko – Master Student of the Departments of Mechanization of Production Processes in Animal Husbandry of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: nazar.kocherezhko@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-6019-4067>).