

Р. М. Рябов, аспірант

Д. О. Мілько, к.т.н., доцент

Таврійський державний агротехнологічний університет

В статті викладено матеріали щодо аналізу теоретичних досліджень процесу змішування сипких матеріалів різної дисперсності, наведений огляд методів дослідження змішування, теорій та розрахунків параметрів змішувачів різного типу, викладено аналіз способів оцінки якості суміші.

Ключові слова: аналіз теоретичних досліджень, процес змішування, змішувачі кормів, якість суміші.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку тваринництва та кормовиробництва в Україні підвищення якості змішування кормів та зміцнення кормової бази є важливою умовою зменшення собівартості приготування кормів, та як наслідок утримання тварин в цілому. На сьогодні не існує єдиного прийнятого критерію визначення якості готових кормів. Саме якість змішування кормів є одним з декількох важливих факторів, що впливають на збільшення чи зменшення витрат на одиницю продукції тваринництва. Тому важливим вважається більш ретельне вивчення процесу змішування, яке дозволить створити нову конструкцію змішувача, яка б задовольнила сучасні зоотехнічні вимоги та підвищила якість українських комбікормів.

Аналіз результатів останніх досліджень. Вагомий внесок у вирішення проблеми змішування сипких матеріалів внесли Макаров Ю.І., Кукта Г.М., Ісаєв Ю.М., Мельников С.В., Першин В.Ф., Бойко І.Г. і ряд інших. На сьогодні дослідженням процесу змішування та вирішення проблем галузі наймаються українські та закордонні вчені. Так у країнах СНГ над проблемами змішування працюють такі вчені як Борсук А.А., Бакін М.Н., Бойко І.Г., Волков М.В., Гришков Є.Є., Іванов В.В., Котов Р.А., Лушнов М.А., Сухоруков Д.В. та інші. Враховуючи дослідження названих авторів, можна дійти однозначного висновку про те, що не існує єдиного критерію оцінки якості суміші. У дослідженні процесу змішування оцінювання якості суміші здійснюється за одним з критеріїв.

Мета дослідження. Ціллю статті є аналіз теоретичних досліджень процесу змішування сипких матеріалів різної дисперсності, визначення основних проблем та питань процесу змішування, для подальшої розробки та обґрунтування параметрів та режимів роботи поточного змішувача кормів з гвинтовим робочим органом.

Результати досліджень. Встановлено, що не існує єдиного критерію, що дозволяє оцінити якість змішування матеріалу. Виявлені основні проблеми та питання вивчення процесу змішування різнодисперсних матеріалів.

Основна частина. Процес змішування широко застосовується у різних галузях виробництва: у харчовій промисловості - для утворення емульсій і суспензій, однорідних сумішей сипких

матеріалів та інших суцільних середовищ, для інтенсифікації процесів тепло- і масообміну; у хімічній промисловості - при виробництві різних хімічних добавок; у сільськогосподарській галузі виробництва - при отриманні комбікормів і добрив; у фармацевтичній промисловості - при виробництві кісткових цементів, лікарських препаратів, преміксів; у будівельному виробництві - для отримання сухих будівельних сумішей; при виробництві композиційних матеріалів.

Моделювання (фізичне, геометричне, математичне) знайшло широке застосування у різних галузях науки. Дослідження процесу змішування - тому не виняток. Різноманітні моделі застосовуються для: розкриття механізму явища, для встановлення технологічних режимів, для визначення параметрів машин і обладнання, для визначення характеристик систем керування. Використовування моделювання призводить до зменшення трудомісткості, зниження матеріальних витрат та часу проведення дослідів. При створенні сучасних змішувачів комбінованих кормів зазвичай використовують теорію подоби та математичне моделювання [4].

Процесу переміщення і змішування матеріалу гвинтовими робочими органами присвячена велика кількість робіт, але дані процеси до сих пір не до кінця вивчені. Питанням змішування і переміщення матеріалу присвятили свої наукові дослідження багато вчених, такі як Макаров Ю.І. [10], Григорьев А.М., Утолін В.В., Панфілов М.Н., Ісаєв М.Ю., Курочкін А.А., Евсеєнков С.В., Ведіщев С.М., Раскатова Е.С., Хлестун В.Х., Кукта Г.М., В. В. Гунько, Курбанов Р. К., Груздев І.Е., Алтінбеков Р.Е., та інші [5].

Однією з актуальних теоретичних проблем в описі процесів готування сипких кормів залишається сумішоутворення компонентів. Макаров Ю.І. розуміє під змішуванням такий механічний процес, у результаті якого компоненти, що перебувають спочатку роздільно, після рівномірного розподілу кожного з них у об'ємі матеріалу, що змішується, утворюють однорідну суміш.[4]

Коноваловим В.В. [7] запропоновані формули для розрахунків параметрів шнекових змішувачів. Ці формули дозволяють розраховувати: мінімальну продуктивність Q_{\min} , кг / с, стрічкового шнека; максимальну продуктивність Q_{\max} , кгс,

стрічкового шнека; кратність циркуляції K , за прийняте час змішування; продуктивність $Q_{ст}$, кг / с, змішувача; потужність $N_{ст}$, кВт, приводу та інші показники та параметри.

Вагомий внесок у вивчення процесу змішування зробив російський вчений Ісаєв Ю.М., який є автором більш ніж 160 наукових статей опублікованих, в основному у журналах ряду провідних галузевих видань. Серед робіт Ю.М. Ісаєва кілька науково-методичних статей і монографій. Головні наукові досягнення - розробка технологій і технічних засобів щодо застосування спіральних гвинтових робочих органів, адаптованих до умов сільськогосподарського виробництва. Ю.М. Ісаєв отримав рішення математичних моделей, що описують процеси транспортування та змішування матеріалів, які застосовуються у тваринництві та рослинництві. Ісаєвим запропонована формула визначення потужності N , кВт, витрачена на привід шнека, а також формула продуктивності Q , кг / с, вертикального гвинтового транспортера. Також цей вчений запропонував декілька методів розрахунку гвинтових конвеєрів і спіральних гвинтових транспортерів, та чимало теорій розрахунку різних змішувачів [5, 6].

Радянський вчений Преображенський П.А. також активно займався вивчення процесу змішування. Особливої уваги він приділяв вивченню змішування гнучким шнеком. За його формулами та методами і досі розраховують продуктивності Q , т / год, гнучкого шнека при змішуванні порошкподібних і дрібнозернистих матеріалів, параметри вертикальних та горизонтальних гвинтових змішувачів [14].

Важливим оціночним критерієм процесу змішування є оцінка однорідності суміші. Кількісною характеристикою завершеності процесу змішування є ступінь однорідності суміші, що представляє собою масове відношення вмісту контрольного компонента в аналізованій пробі до вмісту того ж компонента в ідеальній суміші, виражене у відсотках або частках одиниці. Мельниковим С.В. в навчальному посібнику [11] викладено методи визначення ступеня однорідності суміші. Також ним запропоновано ряд теорій, та формул для розрахунків змішувачів. Сучасна комбікормова промисловість сьогодні застосовує його формулу визначення ступеня однорідності за висновком аналізу проб.

У статті Паніна І.Г. і Колпакова Ю.М. [12] викладено методи оцінки однорідності комбікормової продукції. Методи засновані на статистичному аналізі варіювання індикаторної речовини в пробах суміші. Рекомендованими індикаторними речовинами можуть бути наступні поживні речовини: солі натрію, марганцю, фосфору, кальцію, сирі протеїн.

Останнім часом запропоновано нові способи оцінки якості суміші. Так, В.В. Вороніним, К.А. Адігамовим, С.С. Петренко, Р.А. Сізякіним описа-

ний спосіб визначення коефіцієнта неоднорідності суміші сипких матеріалів, які важко розділяються та розрізняються за кольором. Він включає визначення числа проб, мінімально допустимої ваги проби, відбір проб суміші, знаходження концентрації ключового компонента в пробі, обчислення коефіцієнта неоднорідності суміші. При знаходженні концентрації ключового компонента, вміст проби спочатку розподіляють рівномірним шаром на рівній поверхні, фотографують або сканують. Потім проводять комп'ютерну обробку зображення, представляють його у вигляді масиву чисел, кожен елемент якого виражений пікселем, значення якого відповідає кольору компонента. Далі вибирають діапазон значень пікселів і привласнюють всі пікселі, іншому - що знаходяться в цьому діапазоні, ключовому компоненту, а всі інші пікселі. Потім проводять підрахунок пікселів, відповідних кожному компоненту, і визначають концентрацію ключового компонента, по якій обчислюють коефіцієнт неоднорідності суміші. [5]

Багатьма дослідженнями встановлено, що в мікрооб'ємах маси, яка перемішується може бути нескінченна різноманітність взаємного розташування часток компонентів. Співвідношення компонентів у точках суміші - величина випадкова, тому методи оцінки її якості повинні бути статистичними [2].

При оцінці якості змішування однієї випадкової величиною, суміш вважають двокомпонентною. Для цього із суміші виділяють якийсь один компонент (контрольний), а всі інші об'єднують у другий, умовний. За ступенем розподілу контрольного компонента у масі судять про якість суміші [8, 9].

В якості кількісної оцінки завершеності процесу змішування приймають ступінь однорідності, яка представляє собою відношення вмісту контрольного компонента в аналізованій пробі до вмісту того ж компонента в ідеальній суміші. Ступінь однорідності визначають за емпіричними формулами А.А. Лапшина [1, 11]:

$$\theta = \frac{1}{n} \sum \frac{B_1}{B_0} \text{ при } B_1 < B_0; \quad (1)$$

$$\theta = \frac{1}{n} \sum \frac{2B_0 - B_1}{B_0} \text{ при } B_1 > B_0,$$

де θ - ступінь однорідності;

n - кількість проб;

B_1 - доля меншого компонента у пробі;

B_0 - доля меншого компонента у суміші.

Ступінь однорідності суміші визначають також по величині відношення теоретичного і дослідного середньоквадратичного відхилення:

$$\theta = \frac{\sigma_m}{s} \quad (2)$$

де σ_m - теоретичне середньоквадратичне відхилення, визначається за формулою

$$\sigma_m = \left[\sum_{i=1}^m (x_i - p)^2 / (m - 1) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

де x_i - зміст контрольного компонента в i -й пробі;

ρ - заданий розрахунком вміст контрольного компонента.

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 / (m - 1)} \quad (4)$$

де \bar{x} - середньоарифметичне значення контрольного компонента у всіх пробах;

m - загальна кількість проб.

Ступінь однорідності прийнято виражати у відсотках або частках одиниці i , чим значення ближче до 100%, або одиниці, тим краще завершено процес і вище якість суміші.

Критерієм оцінки процесу змішування може служити коефіцієнт неоднорідності (варіації), який виражається у відсотках. Фізичний сенс коефіцієнта варіації полягає в тому, що він вимірює середньоквадратичне відхилення частини контрольного компонента в одиницях середнього значення випадкової величини. Величину коефіцієнта однорідності змішування v_c визначають за формулою

$$v_c = 10^{-2} \cdot C_0 \left[\frac{\sum (C_i - C_0)}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

де C_0 , C_i - відповідно заданий і фактичний вміст компонента у суміші;

S - величина середньоквадратичного відхилення контрольного компонента за даними дослідів.

Зниження значення v_c свідчить про більш якісне протікання процесу. Для більшості змішувачів значення $v_c = 20\%$ вважається достатнім. З аналізу кінетики змішування (розвиток процесу в часі) (рисунок 1) видно, що процес змішування складається з трьох складових [8]:

- конвективного змішування: переміщення групи суміжних частинок з одного місця в інше впровадженням (вм'ята, ковзанням) шарів. Процес протікає на рівні макрооб'ємів і майже не залежить від фізико-механічних властивостей матеріалів (ділянка I на рисунку 1);

- дифузійного змішування (поступове переростання частинок різних компонентів через жоутворенню межу їх розділу). Процес протікає на рівні мікрооб'ємів (ділянка II на рисунку 1);

- процесу сегрегації (зосередження частинок, що мають однорідну масу, у відповідних місцях змішувача під дією гравітаційних або інерційних сил). Процес погіршує якість суміші, так як за своєю дією він протилежний першим двом (ділянка III на рисунку 1). Якщо прийняти ділянку за область допустимих значень показника мінливості, то у кінці ділянки II процес змішування слід закінчувати, так як подальше вплив мішалок на матеріал не покращує якість суміші. Оптимальний час змішування для певного змішувача і виду матеріалу визначають експериментально. Так, для більшості змішувачів кормів періодичної дії цей час становить 8 ... 12 хв, а шнекові змішувачі безперервної дії при змішуванні комбікормів вибирають довжиною не більше 0,9 ... 1,0 м [1].

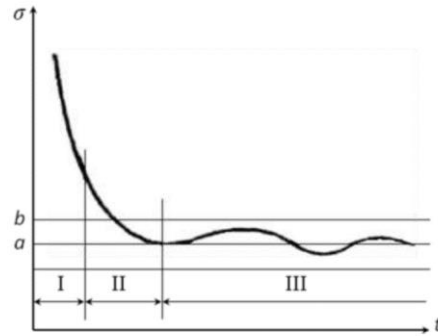


Рисунок 1 - Кінетика процесу змішування в змішувачі періодичної дії

Алешкін В.Р. зазначає, що за даними численних досліджень, закон розподілу частини контрольного компонента в суміші після закінчення процесу може бути біноміальним, пуассонівським і нормальним. При малій дозі введення контрольного компонента (менше 10%) розміщення його частинок у загальній масі підпорядковується пуассонівському розподілу [1].

При досить великій кількості проб біноміальний розподіл добре апроксимується. Тому, виходячи з стохастичною суті процесу змішування, його можна оцінювати статистичними методами. Згідно В.Р. Алешкіну і Г.М. Роцину, розподіл часток контрольного компонента у суміші підпорядковується нормальному закону розподілу. Виходячи з зоотехнічних умов, вони задаються граничним відхиленням числа або частини частинки контрольного компонента Δi від середнього значення у пробах, будь-якого змішувача. В результаті аналізу m проб отримано значення частини частинок контрольного компонента, рівне $x_1, x_2, x_3 \dots x_m$ і величина відхилення $\Delta i = x_i - \bar{x}$, де \bar{x} - середнє значення частини частинок контрольного компонента у суміші $i = 1, 2$.

Нормуються ці величини шляхом ділення кожної з них на середньоквадратичне відхилення

$$z_1 = \frac{\Delta_1}{s}; z_2 = \frac{\Delta_2}{s}; z_i = \frac{\Delta_i}{s} = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (6)$$

Закон розподілу випадкових величин Z_i також буде нормальним, а ймовірність попадання числа або частини частинок контрольного компонента у задані межі Z_i, z'_k і z''_k визначається з виразу

$$P \cdot \left(z'_k < \frac{\Delta_i}{s} < z''_k \right) = 2\Phi_0 \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right) = 2\Phi_0(z_i) \quad (7)$$

де Φ_0 - нормована функція Лапласа (таблицне значення).

Цифра 2 у вираженні (7) означає, що відхилення у обидві сторони від середнього значення однаково.

Крива нормальної щільності нормованої випадкової величини (число частинок контрольного компонента) показана на рисунку 2.

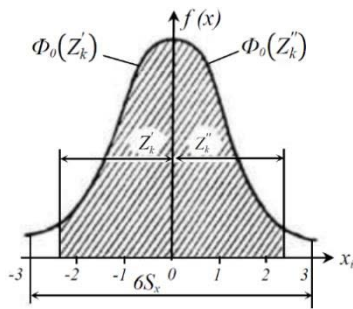


Рисунок 2 - Щільність ймовірності нормального розподілу

Площа під кривою нормального розподілу показує сумарну частку частинок контрольного компонента, укладену у заданих межах z'_k і z''_k , яка визначається за виразом (7).

Вона характеризує розподіл всієї сукупності частинок контрольного компонента у суміші. Якщо у якості граничного розмаху розподілу прийняти значення $6S$, то ймовірність знаходження частини частинок контрольного компонента у межах $6S$ дорівнює 0,9973. Ступінь однорідності змішування θ задають також у вигляді

$$\theta = \frac{\Phi_0(z_i)}{\Phi_0(z-3)} = \frac{\Phi_0(z_i)}{0,9973} \quad (8)$$

Фізичний зміст виразу (8) полягає в тому, що величина θ показує частку частинок контрольного компонента у суміші, яка знаходиться у заданих межах $\pm \Delta i$ при $0 < \theta < 1$. Граничному випадку повного змішування відповідає $\theta = 1$.

При практичних розрахунках (за формулою 8), за результатами аналізу проб, розраховується середнє значення x , середньоквадратичне відхилення $z_i = \frac{\Delta_i}{S}$ нормоване відхилення = і далі за таблицями нормованої функції S Лапласа визначається $\Phi_0(z_i)$ [1].

При описі процесів змішування сипких матеріалів в останні десятиліття все більше засто-

сування знаходить чисельне моделювання [13, 15]. Особливо зручним чисельне моделювання представляється при описі процесів гравітаційно-пересипних змішування, коли воно відбувається найбільш активно у тонкому шарі матеріалу, в якому присутній випадковий перехід частинок компонентів у сусідній шар. Прикладом такого апарату є змішувач, робоча циліндрична поверхня якого обертається разом з лопатями, встановленими всередині робочої камери. У цьому випадку основний обсяг суміші, заповнює нижню частину камери, рухається синхронно з робочою поверхнею без перемішування, і тільки в верхньому шарі матеріалу, скачується під кутом обвалення вниз по поверхні шару, має місце хаотичний рух і перерозподіл часток різних фракцій. Дослідження такого типу змішування займалися Волков М.В., Л. Prigozhin., Н. Kalman., Першин В.Ф., Селіванови Ю.Т та В.Ф [3]

Висновки. Проаналізувавши вищевикладені результати теоретичних досліджень, слід зазначити, що питання змішування і переміщення кормів гвинтовими робочими органами недостатньо вивчений. При цьому не існує єдиного критерію, що дозволяє оцінити якість змішування матеріалу.

В даний час недостатня увага приділяється дослідженням, спрямованим на підвищення ефективності використання горизонтальних гвинтових змішувачів у тваринництві. Існуючі моделі змішувачів сипких матеріалів різної дисперсності не завжди здатні задовольнити зоотехнічні вимоги до якості кормів.

У зв'язку з цим, потрібно більш ретельно та глибше дослідити питання ефективно використання гвинтових горизонтальних змішувачів для приготування кормів сільськогосподарських тварин.

Список використаної літератури:

1. Алешкин, В.Р. Механизация животноводства / В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – М.: Агропромиздат, 1985.– 333 с.
2. Борсук А.А. Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров технологической линии приготовления сухого заменителя молочных кормов.: дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Борсук Алексей Алексеевич – Благовещенск, 2014. – 166 с.
3. Волков М.В. Метод расчета процесса смешивания сыпучих материалов в новом аппарате с открытой рабочей камерой. : дис. канд. техн. наук : 05.17.08 / Волков Максим Витальевич – Ярославль, 2014. – 138 с.
4. Гвоздев В. О. Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів швидкохідного гвинтового змішувача кормів. : дис. канд. техн. наук : 05.05.11 / Гвоздев Віктор Олександрович – Глеваха, 2008. – 193 с.
5. Гришков Е. Е. Обоснование параметров и режимов работы спирального смесителя при приготовлении кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства: дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Гришков Евгений Евгеньевич – Рязань, 2015. – 237 с.
6. Исаев, Ю.М. К вопросу о вертикальном перемещении сыпучего материала [Текст] / Ю.М. Исаев, Х.Х. Губейдуллин, Н.М. Семашкин, О.П. Гришин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 122 - 126.
7. Коновалов, В. В. Расчет оборудования и технических линий приготовления кормов (примеры расчетов на ЭВМ): учебное пособие / В. В. Коновалов. – ПГСХА, 2002. – 206 с.

8. Кукта, Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
9. Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Колос, 1978. – 240 с.
10. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
11. Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
12. Панин, И.Г. Методика оценки однородности комбикормовой продукции. [Текст] / И.Г. Панин, Ю.М. Колпаков // Аграрная наука. – 2004. – №8. – С. 21-22.
13. Першин, В.Ф. Методы расчета и новые конструкции машин барабанного типа для переработки сыпучих материалов; дис... доктора техн. наук / В.Ф. Першин. – Тамбов, 1994. - 431 с.
14. Преображенский, П.А. Сравнительная оценка методов расчета производительности односпирального гибкого шнека. [Текст] / П.А. Преображенский, А.М. Григорьев // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1970. – № 3.
15. Таршис, М.Ю. Теория и принципы моделирования процесса смешивания сыпучих материалов и создания устройств с гибкими элементами для его реализации/ М.Ю. Таршис, Л.В. Королев, А.И. Зайцев: монография, Ярославль: изд-во ЯГТУ, 2011. – 100 с.

Рябов Р.М., Милько Д.А. АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ

В статье изложены материалы по анализу теоретических исследований процесса смешивания сыпучих материалов различной дисперсности, представлен обзор методов исследования смешивания, теорий и расчетов параметров смесителей разного типа, изложен анализ способов оценки качества смеси.

Ключевые слова: анализ теоретических исследований, процесс смешивания, смесители кормов, качество смеси.

Ryabov R., Milko D. ANALYSIS OF THEORETICAL INVESTIGATIONS OF MIXING

The article provides materials are expounded on the analysis of theoretical researches of process of mixing of friable materials of different dispersion, the review of methods of research of mixing, theories and calculations of parameters of mixers of different type is presented, the analysis of methods of estimation of quality of mixture. Method of determination of coefficient of heterogeneity for mixture of friable materials includes determination of number of tests, minimum possible weight of test, sampling of mixture, being of concentration of key component in a test, calculation of coefficient of heterogeneity of mixture. At being of concentration of key component, content under the test at first is distributed by an even layer on an even surface, take pictures or scan. The degree of homogeneity it is accepted to express in percents or parts of unit and, what value nearer to 100%, or units, a process and higher quality of mixture are completed so much the better.

Estimation of process of mixing the coefficient of heterogeneity (variations), that is expressed in percents, can serve as a criterion. The degree of homogeneity it is accepted to express in percents or parts of unit and, what value nearer to 100%, or units, a process and higher quality of mixture are completed so much the better. Number of particles part for the control component is Δx from a mean value y in tests, any mixer. As a result of analysis of m tests the value of part of particles of control component is got, even $x_1, x_2, x_3 \dots x_m$ and size of rejection $\Delta x = x_1 - X$, where X it is a mean value of particles part for the control component in mixture.

Key words: particles part, theoretical investigations of mixing, feed mixers, the quality of the mixture, control component.

Стаття надійшла в редакцію: 05.10.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Тарельник В.Б.