

КРИТЕРІЇ І СПОСОБИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ КОМБІКОРМІВ

Бойко Д.І., аспірант

(Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка)

Розглянуті існуючі критерії і способи оцінки якості результатів змішування сипучих матеріалів. Виконаний їх аналіз. Запропонована нова методика визначення якісних показників результатів змішування.

Постановка проблеми. Збільшення виробництва продукції тваринництва неможливо без міцної та стабільної кормової бази, яка здатна забезпечити тваринницькі підприємства необхідними кормами, збалансованими за основними поживними речовинами, мікроелементами, вітамінами і біологічно активними кормовими добавками [1]. Аналізуючи сучасні тенденції годівлі тварин і птиці слід відмітити, що у сучасних раціонах частка концентрованих кормів (комбікормів) по поживності складає: для великої рогатої худоби – 20...50% (у складі кормової суміші), для свиней – 60...90%, для птиці – 90...100% [2].

Комбікорм – це складна однорідна суміш очищених і подрібнених до заданих розмірів кормових засобів і мікродобавок, яка виробляється за науково обґрунтованими рецептами і забезпечує повноцінну годівлю сільськогосподарських тварин і птиці з метою ефективного використання всіх поживних речовин. Запорукою широкого використання комбікормів для годівлі сільськогосподарських тварин і птиці є те, що при промисловому утриманні тварин і птиці, коли вони ізольовані від навколишнього середовища, комбікорм стає головною ланкою, яка зв'язує їх з навколишнім середовищем [3]. Окрім того, використання збалансованих по всім поживним речовинам комбікормів підвищує продуктивність тварин 10...12 %, а при збагаченні їх вітамінами, мікроелементами і другими стимулюючими речовинами – на 25...30 % в порівнянні з тим, коли тваринам згодують окремі види подрібненого фуражного зерна [4].

Приготування комбікормів включає наступні основні операції: очистку сировини від сторонніх домішок; подрібнення зерна та інших компонентів; дозування компонентів згідно з рецептами; змішування компонентів. Найважливішою операцією із приведеного переліку є змішування, оскільки від досконалості процесу її виконання, змішувані компоненти мають розподілятися по всьому об'єму комбікормів таким чином, щоб до будь-якої частинки одного із компонентів примикали частинки других компонентів в кількості, які визначаються заданими співвідношеннями, згідно раціонів годівлі. Процес змішування виконується в випадку присутності можливості у кожної твердої частинки хаотичного або ціле спрямованого переміщення відносно других частинок. При цьому початковий стан системи, який характеризується упорядкованим розподіленням компонентів, в кінці процесу змішування становиться неупорядкова-

ним з статистично випадковим розподіленням компонентів [5]. Тому в процесі приготування комбікормів виникає необхідність в постійному контролі їх складу відповідності рекомендованим рецептам.

Аналіз останніх досліджень. Приготування сипучих сумішей широко використовується в різних галузях легкої, хімічної, харчової промисловості і зокрема в агропромисловому комплексі та комбікормовому виробництві при виготовленні комбікормів. Для оцінки якості суміші із компонентів сипучих матеріалів запропоновані десятки критеріїв [5, 6], основними із яких є: рівномірність змішування (*однорідність суміші*); нерівномірність змішування (*неоднорідність суміші*); міра розсіювання; коефіцієнт неоднорідності; степінь змішування; стандартне відхилення; критерій однорідності; повнота змішування та інші. Одна із перших формул для оцінки якості змішування сипучих матеріалів була запропонована Пестовим Н.Е. в 1947 році [7] і базувалася на середніх відхиленнях співвідношення компонентів окремих проб від величини їх співвідношення в суміші:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1-a_i}{a}}{n} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де M – середній показник відхилення співвідношень компонентів окремих проб від середньоарифметичного відхилення компонентів для даної суміші;

a – середнє арифметичне співвідношення компонентів A і B у суміші;

a_i – співвідношення тих же компонентів у пробі;

n – кількість проб.

Аналіз формули (1) показує, що при різних співвідношеннях компонентів в суміші величина середнього показника відхилень M може мінатися в дуже широких межах і тому не може відображати об'єктивну оцінку якості отриманої суміші.

Поширеним методом визначення якості суміші є метод, в основі якого прийнято відношення вмісту одного із компонентів у пробі до вмісту цього ж компонента у всій суміші. Для визначення ступеню однорідності суміші по цьому методі В.В.Кафаровим [8] були запропоновані наступні формули:

$$\theta = \frac{\sum \frac{C}{C_0}}{n} \cdot 100\%; \quad (2)$$

$$\theta = \frac{\sum \frac{100 - C}{100 - C_0}}{n} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де θ – ступінь однорідності суміші;

C – вміст певного компоненту в пробі, в %;

C_0 – вміст певного компоненту у всій суміші, в %.

Ступінь однорідності суміші визначають по формулі (2), якщо в пробі буде менше певного компонента, ніж у всій суміші, тобто коли $C \leq C_0$. В випадку коли $C \geq C_0$ застосовують формулу (3).

При визначенні якості суміші по цих формулах В.В.Кафаров припускає, що рівні відхилення окремих компонентів від заданої величини, їх вміст у всій суміші дають однакові значення ступеню однорідності при визначенні по будь-якому із компонентів суміші.

Проаналізувавши формули Н.Е.Пестова і В.В.Кафарова, А.А.Лапшин [9] запропонував новий метод, який ґрунтується на припущенні, що ступінь однорідності суміші постійна при різних по абсолютній величині відхилення одного із компонентів в пробі у більшу або меншу сторону, тобто:

при $B_t < B_0$:

$$\theta = \frac{\sum \frac{B_t}{B_0}}{n} \quad (4)$$

при $B_t \geq B_0$:

$$\theta = \frac{\sum \frac{2B_0 - B_t}{B_0}}{n}, \quad (5)$$

де B_t – вміст компонента в пробі;

B_0 – вміст компонента в суміші.

Проаналізувавши метод А. А. Лапшина, Е. А. Раскатова [10] зробила висновок, що формула (5) дає об'єктивно правильне рішення тільки для суміші, у якій відношення одного компонента, завжди більшого, до другого дорівнює 1. У всіх останніх випадках по цій формулі виникають суперечливі результати.

Відхиляючи аналітичне визначення якості змішування кормової суміші, Е.А.Раскатова пропонує графічний метод, базуючись на тому, що будь яку двокомпонентну суміш можна зобразити співвідношенням її складових компонентів:

$$\varepsilon = \frac{Q_A}{Q_B}, \quad (6)$$

де ε – відношення одного компонента до другого;

Q_A – вага компонента A в суміші, в кг;

Q_B – вага компонента B у суміші, в кг.

В подальшому Раскатова Е.А. відказалась від цього методу і запропонувала за критерій оцінки якості змішування прийняти середньоквадратичне відхилення концентрації одного із компонентів у пробах, віднесене до концентрації в усьому об'ємі суміші, а коефіцієнт однорідності суміші визначати по формулі:

$$K = (100 - \sigma_C)\%, \quad (7)$$

де σ_C середньоквадратичне відхилення концентрації одного із компонентів у пробах, віднесене до концентрації в усьому об'ємі суміші.

Раскатова Е. А. в роботах [11, 12] також запропонувала розрахункове рівняння процесу змішування у вигляді коефіцієнту відносної неоднорідності суміші:

$$W_{(C)} = A(\omega t)^{-B} + D \lg(\omega t), \quad (8)$$

де W – коефіцієнт відносної неоднорідності суміші;

ωt – безрозмірна величина, яка оцінює показник ефективності впливу робочого органу на процес змішування;

A, B, D – постійні величини, які залежать від фізико-механічних властивостей компонентів і технологічних факторів.

В даному рівнянні перший член характеризує “ідеальне” змішування, а другий – протилежне розділення суміші. Практичне застосування даного рівняння, як якісного показника, надто складно, так як приведені рівняння характеризує процес змішування в часі, включає емпіричні коефіцієнти, відображає вплив конструктивних і кінематичних параметрів змішувача і фізико-механічних властивостей змішуваних компонентів. Величина коефіцієнтів залежить також від умов проведення досліджень.

В своїх дослідженнях Б. А. Комаров [13] пропонує для визначення якості змішування залежність виду:

$$M = 1 \cdot e^{kt}, \quad (9)$$

де M – якість змішування;

k – коефіцієнт, який ураховує залежність процесу змішування від фізико-механічних властивостей сипучого матеріалу і геометричних параметрів змішувача;

t – режими роботи змішувача.

Оскільки в приведеній залежності присутнє значення часу, тобто період роботи змішувача, то вона не може характеризувати роботу змішувачів безперервної дії.

В роботі Новобранцева Ф.К. [14], яка присвячена дослідженню змішувачів концентрованих кормів, однорідність суміші визначалась по формулах:

для випадку $k \leq k_0$:

$$\lambda = \frac{k - 100}{k_0} \%, \quad (10)$$

для випадку $k \geq k_0$:

$$\lambda = \frac{(100 - k)}{100 - k} \cdot 100 \%, \quad (11)$$

де λ – однорідність суміші, в %;

k – процентний вміст контрольного компонента в пробі;

k_0 – процентний вміст контрольного компонента по рецепту.

Всесоюзним науково-дослідним інститутом електрифікації сільського господарства [15] рекомендується наступна методика визначення якості суміші: якість змішування визначається за результатами аналізу методом математичної статистики; по одержаному в пробах контрольному компоненту визначають середнє випадкової вибірки:

$$X_{CP} = \frac{\sum X_I}{n}, \quad (12)$$

де X_I – кількість контрольного компонента в пробі;

n – кількість проб.

Рівномірність розподілення частин компонентів в суміші оцінюють по середньоквадратичному відхиленню, яке обчислюють по формулі:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_I - X_{CP})^2}{n-1}}. \quad (13)$$

При цьому рівномірність розподілення компонентів в суміші є безпосередній показник, при умові, якщо зрівнювати тільки однакові показники і середні зрівнюваних груп не дуже відрізняються один від другого. Якщо ця умова не виконується і необхідно зрівняти розподілення при різкій різниці середньої кількості частинок, які приходяться на вибрану величину проби, показник σ не може служити показником якості змішування.

Для порівняння рівномірності розподілення цих компонентів застосовують коефіцієнт варіації:

$$v = \frac{\sigma}{X_{CP}} \cdot 100 = \frac{100}{X_{CP}} \cdot \sqrt{\frac{\sum (X_I - X_{CP})^2}{n-1}} \quad (14)$$

Ступінь однорідності при цьому знаходять по формулі:

$$\lambda = 100 - V. \quad (15)$$

Середню ступінь однорідності обчислюють по трьом повторенням:

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3}. \quad (16)$$

При дослідженні вібраційних змішувачів сипучих матеріалів Непомнящий Е.А. [16] для оцінки якості змішування пропонує диференціальне рівняння виду:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{b}{2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + C \frac{\partial w}{\partial t}, \quad (17)$$

де b – коефіцієнт дифузії, який залежить від фізико-механічних властивостей компонентів;

C – швидкість вимушеного переносу часток, направлено до основи шару під дією зовнішнього поля (гравітаційного, гідродинамічного і тому подібних).

Трудність практичного застосування даного рівняння складається в тому, що коефіцієнти b і C , які залежать від фізико-механічних властивостей і інтенсивності дії зовнішнього поля, невідомі.

Із зарубіжних літературних джерел [17] відомо, що механізм змішування зсувом найбільш виявляється в змішувачах з здвоєною стрічковою спіраллю, в яких одна стрічкова спіраль передає рух матеріалу в одну сторону, а друга - в протилежну. Така дія спіралей змішувача можна розглядати як прагнення збільшення поверхні розділу між шарами сипучих матеріалів. В цьому випадку припускається, що збільшення величини розділу пропорціональне різниці між максимальною і фактичною поверхнею розділу:

$$F = F_m \cdot (1 - e^{Ct}), \quad (18)$$

де F_m – максимальна поверхня розділу;

C – стала процесу.

Змішування шляхом переміщення груп частинок з одного місця в друге, тобто за шляхом конвекції, має місце в багатьох змішувачах, наприклад, вертикально-шнекових, лопатевих з горизонтальним розташуванням робочого органу та інші. При даному механізмі змішування швидкість знаходиться в прямій залежності від інтенсивності обміну і описується рівнянням [18]:

$$\ln \sigma^2 = \ln \frac{1}{4} + n \ln(1 - 2a)^2, \quad (19)$$

де n – частота обертання ротора;

a_2 – інтенсивність обміну;

σ – дисперсія.

Однак, таке описання механізму змішування важко використовувати для реальних умов виконання процесу змішування і отримувати відомості про швидкість змішування.

Для визначення однорідності сумішей запропоновано ряд способів: ваговий, розсіванням на ситах, оптичний та ін. Перший і другий способи дозволяють визначати однорідність сумішей, компоненти яких відрізняються по вазі, або по розміру, при третьому способі визначення однорідності сумішей проводиться на основі порівняльного аналізу здатності компонентів суміші поглинати, відбивати або заломлювати світло. До недоліків приведених способів слід віднести їх трудомісткість та значні затрати часу на проведення дослідів. В останній час запропоновані нові способи [19], в яких однорідність сумішей визначають по відмінності кольорів компонентів.

Мета досліджень. Аналіз існуючих критеріїв оцінки однорідності сипучих сумішей і способів їх виконання відносно їх використання при визначенні однорідності комбікормів.

Результати досліджень. В результаті проведених аналітичних досліджень встановлено, що комбікорм є суміш, інгредієнти якої не відрізняються ні по вазі, ні по розмірам, ні по кольору. Тому визначення однорідності комбікормів необхідно виконувати за допомогою ключового компоненту, умовно приймаючи їх, як двохкомпонентну суміш. Для цього виділяють із комбікорму

один компонент, а всі останні об'єднують в умовний другий компонент. В якості ключового компоненту вибирають такий компонент, який легко аналізується, або його розподілення в суміші особливо важливо по технологічним вимогам. В залежності від ступеня розподілення ключового компонента в суміші умовно судять про однорідність комбікормів.

Аналіз критеріїв однорідності сипучих сумішей показав, що до сучасного часу немає єдиної методики їх визначення, а практичне застосування їх надто трудомістке. Тому виникла необхідність розробити такий критерій оцінки якості змішування, який би вилучив існуючі недоліки і був достатньо простим і надійним.

Досліди, проведені різними авторами, показали, що численні величини ступеню однорідності сипучих сумішей, змінюються в залежності від розміру проб, їх кількості, а також від відносного вмісту контрольного компонента в суміші. Всі ці фактори взяті разом, або окремо кожний, можуть чинити істотний вплив на оцінку якості змішування. Тому щоб виключити вплив цих небажаних факторів, ступінь однорідності суміші, на наш погляд, необхідно визначати в наступній послідовності:

- по даним серії дослідів обчислюємо середнє значення вмісту контрольного компонента в суміші:

$$\bar{g} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i, \quad (20)$$

де g_i – маса контрольного компонента в i -тій пробі;

n – кількість відібраних проб;

- знаходимо відхилення середньої величини вмісту контрольного компонента від заданої величини компонента:

$$\chi = \left| g_s - \bar{g} \right|; \quad (21)$$

- ступінь однорідності обчислюємо по наступному співвідношенні

$$\eta = \frac{g_s - \chi}{g_s} \cdot 100. \quad (22)$$

Запропонований критерій оцінки однорідності сипучих сумішей відрізняється від відомих тим, що ми визначаємо відхилення не від середньої величини, а від величини, яка регламентується заданою величиною вмісту компонента в суміші.

Висновки. Встановлено, що для визначення якісних показників процесів змішування сипучих матеріалів запропонована значна кількість критеріїв і до цього часу немає єдиної методики їх визначення. Запропонований нами критерій оцінки якості змішування сипучих матеріалів є досить простим і надійним, дозволяє швидко знаходити числові значення однорідності суміші і не залежить від розміру проб.

Список літератури

1. Боден С.М. Научные основы кормления сельскохозяйственных животных / С.М. Боден // Сельское хозяйство за рубежом. – 1991. – №5. – С. 11–13.
2. Боярский Л.Г. Технология кормления и полноценное кормление сельскохозяйственных животных / Л.Г. Боярский. – Ростов н/Д: Феникс, 2001. – 200 с.
3. Денисов Н.И. Производство и использование комбикормов / Н.И. Денисов, М.Т. Тараканов. – М.: Колос, 1970. – 236 с.
4. Витамины в кормлении сельскохозяйственных животных / [О.Е. Привало, С.М. Паенок, Я.С. Гусак и др.]; под ред. О.Е. Привало – К.: Урожай, 1983. – 160 с.
5. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Монография / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение. 1973. – 215 с.
6. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы измельчения и смешивания сыпучих материалов / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, С.Ю. Арутюнов. – М.: 1985. – 440 с.
7. Пестов Н.Е. Физико-механические свойства зернистых и порошкообразных химических продуктов / Н.Е. Пестов. – М.: АН СССР, 1947. – 118 с.
8. Кафаров В. В. Процессы перемешивания в жидких средах / В.В. Кафаров. – М. – Л., 1949. – 187 с.
9. Лапшин А.А. Определение завершения процесса смешивания / А.А. Лапшин. / Труды ЛИХМ. – 1954. Т. 5. С. 274 – 282.
10. Раскатова Е.А. Оценка качества смешивания сыпучих материалов / Е.А. Раскатова. Сб. статей Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства, выпуск 23, 1965. – С. 17 – 29.
11. Раскатова Е. А. Факторы, определяющие смешивания материалов / Е.А. Раскатова // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1977. – №8. – С. 18 – 20.
12. Раскатова Е.А. Уравнение процесса смешивания сыпучих материалов / Е.А. Раскатова // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1974. - №11. – С. 53 – 54.
13. Комаров Б.А. Исследование непрерывного процесса смешивания кормов с солями микроэлементов / Б.А. Комаров. // Сб. научных трудов. Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства. – 1968. – Вып. 11. – С. 130 – 143.
14. Новобранцев Ф.К. Исследование работы смесителя кормов / Ф.К. Новобранцев. Труды ВНИИ механизации и электрификации сельского хозяйства, вып. 3., М., 1960. С. 36 – 43.
15. Сыроватка В.И., Приготовление комбикормов, обогатительных и лечебных добавок / В.И. Сыроватка. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 45 с.
16. Непомнящий Е. А. Статистическая теория вибросмешивания сыпучих материалов / Е.А. Непомнящий // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1964. – С. 66 – 72.
17. Brotman A., Wollan G., Feldman S. Introduction to liquid mixing. Chemical and Metallurgical Engineering. – 1945. – 52. – №4. – 102 с.

18. Mori Losiro, Jombo Geji, Taki Makato, Waschio Fumiro. Theoretical analysis of mixing mechanism of metted powders. Chemical Engineering., Japan. – 1961. - №11. – 25. – 803.

19 .Перельман Н. Э. К вопросу о методике определения однородности состава комбикормов / Н.Э. Перельман // Сообщения и рефераты ВНИИЗ. – М., - 1961. – Вып. 3. – С. 10 –12.

Аннотация

Критерии и способы оценки качества смешивание компонентов комбикормов

Бойко Д.И.

Рассмотрены существующие критерии и способы оценки качества результатов смешивания сыпучих материалов. Выполнен их анализ. Предложена новая методика определения качественных показателей результатов смешивания.

Abstract

Criteria and methods of estimation of quality mixing of components of the mixed fodders

D.Boyko

Existent criteria and methods of estimation of quality of results of mixing of friable materials are considered. Their analysis is executed. The new method of determination of high-quality indexes of results of mixing is offered.