

Обоснование режимов подключения системы дозирования к смесителю

Нигяр Арзу Багирова, Ульвия Эльдар Сафарова

Азербайджанский государственный аграрный университет, г. Гянджа. Азербайджанская Республика

e-mail: tagiyev.asau@gmail.com

Аннотация. В практике производства концентрированных комбикормов широко распространено использование мясо-костной муки. В 1 кг этого кормового компонента содержится 50 г белка. В большинстве экономически развитых стран использование отходов в технологической цепочке переработки сельскохозяйственной продукции для приготовления концентрированных комбикормов способствует как удовлетворению потребностей интенсивного животноводства, так и рациональному использованию всех резервных ресурсов. Установлено, что вариация состава концентрированных комбикормов обладает широкими возможностями. При этом особое значение имеет выбор оптимального состава или составление оптимального плана эффективного использования компонента таким образом, чтобы не увеличивались затраты труда, вложений и энергии, с выбором эффективных технологических вариантов и технических средств.

Ключевые слова: животноводство; производство комбикормов; дозировка; смеситель.

Для цитирования: Багирова Н. А., Сафарова У. Э. Обоснование режимов подключения системы дозирования к смесителю // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 109–116. <http://10.28983/asj.y2023i1pp109-116>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Justification of the modes of connection of the dosing system to the mixer

Nigar A. Bagirova, Ulviya E. Safarova

Azerbaijan State Agrarian University, Ganja, Republic of Azerbaijan

e-mail: tagiyev.asau@gmail.com

Abstract. In the practice of producing concentrated compound feeds, the use of meat and bone meal is widespread. 1 kg of this feed component contains 50 g of protein. In most economically developed countries, the use of waste in the technological chain of processing agricultural products for the preparation of concentrated compound feeds contributes both to meeting the needs of intensive animal husbandry and to the rational use of all reserve resources. It is determined, that the variation in the composition of concentrated compound feeds has wide possibilities. The choice of the optimal composition or the preparation of an optimal plan for the effective use of the component is of particular importance. It should be done in such a way that labor, investment and energy costs do not increase, and with the choice of effective technological options and technical means.

Keywords: animal husbandry; feed production; dosage; mixer.

For citation: Bagirova N. A., Safarova U. E. Justification of the modes of connection of the dosing system to the mixer // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(1):109–116. (In Russ.) <http://10.28983/asj.y2023i1pp109-116>.

Введение. В настоящее время аграрная политика в Республики Азербайджан направлена на интенсификацию производства мяса, молока, яиц и шерсти. Указ президента страны от февраля 2005 года [6] о программе социально-экономического развития регионов и вытекающий из этого план мероприятий служат для реализации этой политики. Все это требует использования в республике большого количества концентрированных комбикормов.

В последние годы в республике замечен определенный прогресс как в продуктивности животных, так и в валовом производстве продукции [5, 7, 8]. Тем не менее, кормовой потенциал в республике остается неудовлетворительным как по общему объему, так и по качеству. В Азер-



байджане, по сравнению со странами Прибалтики, с учетом поголовья животных расход кормовых единиц в животноводстве в 4,3 раза меньше. Особенно выделяется достаточно низкое производство концентрированных комбикормов которые компенсируют недостаток питательных веществ, минералов и витаминов в других кормах.

Следует отметить, что, несмотря на недостаточный уровень производства концентрированных комбикормов в Азербайджане, потенциальные возможности для развития этой сферы имеются. Следует иметь в виду, что около 35 % земельных ресурсов республики приходится на кормопроизводство [4]. В стоимостной структуре продукции животноводства корма составляют 50–60 % затрат. Развитие зерноперерабатывающих предприятий на территории республики по количеству и объемам производства параллельно привело также к ежегодному увеличению выпуска мельничных отходов и частично некондиционных концентрированных комбикормов. Тем не менее, до четверти потребности в полнорационных концентрированных комбикормах в нашей республике не может быть обеспечено [20]. В настоящее время наблюдается переход основного объема производства концентрированных комбикормов с централизованных комбикормовых заводов на региональные мельницы. То, что вопрос нашел развитие таким образом, можно расценить как положительный случай. Это связано с тем, что транспортирование зерна на централизованные заводы, формирование там больших штабелей и последующая транспортировка готовых кормов в регионы не может считаться эффективной, так как сопряжена с рядом дополнительных затрат. Напротив, налаживание производственных линий на предприятиях по производству местного фуражного зерна, кормовых запасов и концентрированных комбикормов с белково-витаминно-минеральными добавками может способствовать оперативному удовлетворению спроса на обслуживаемой территории, обеспечению групп животных более качественными и правильно назначенными дешевыми кормами. Это может привести к получению потерянных тоннами мяса, молока и другой продукции из-за недостаточного обеспечения животноводства качественными кормами.

Неспособность мощностей индустрии производства концентрированных комбикормов удовлетворить спрос приводит к тому, что обслуживающие мельницы в региональном масштабе не могут предлагать фермерам концентрированные комбикорма нужной кондиции. В первую очередь, необходимо, чтобы производители кормов, в сфере обслуживания, имели информацию о количестве, структуре крупного и мелкого рогатого скота и птицы их требования к кормам и их составу у потребителей, а во вторую очередь, чтобы на основе этой информации гибко и адекватно работала технологическая линия. Одной из наиболее актуальных проблем современного аграрного производства является обеспечение населения достаточным количеством качественной продукции животноводства. Для успешного удовлетворения растущего спроса на мясо-молочную продукцию необходимо развитие животноводства, что напрямую связано с созданием прочной кормовой базы. Обеспечение животных сбалансированными полнорационными кормами по питательности в соответствии с планируемой продуктивностью является одним из решающих условий, повышающих продуктивность и качество продукции. Качество кормов, степень их сбалансированности питательными веществами и ферментами, а также рационы кормления оказывают существенное влияние на продуктивность животных, качество получаемой продукции и здоровье животных [13, 18].

Сбалансированные корма, в состав которых входят органические и питательные вещества растительного, животного, искусственного происхождения, представляют собой трудоемкий и энергоемкий процесс, специально разработанный для кормления сельскохозяйственных животных. Для сбалансированности кормов по питательным веществам целесообразнее их готовить из смеси кормов и кормовых добавок, иначе говоря, концентрированный комбикорм. В состав такого корма включается до 50 ингредиентов, а также большую часть рациона составляют зерновые.

Особенно в связи с переходом сельского хозяйства на рыночные условия возникла необходимость интенсификации производства как в земледелии, так и в животноводстве, что повысило спрос на полнорационные концентрированные комбикорма.

Основная задача при приготовлении концентрированных комбикормов заключается в снижении в них потерь энергетической ценности за счет улучшения усвояемости, улучшения перевариваемости и повышения его питательности [11, 12, 15].



Цель исследования состоит в обосновании эффективных технологий и технических средств производства полнорационных концентрированных комбикормов на основе местных кормовых ресурсов и информационно-отчетной системы.

Методика исследований. В любой технологической линии приготовления концентрированных комбикормов дозирование компонентов требует системы дозаторов, основанных на объеме или массе. Наддозаторные бункеры заполняются компонентами в основном двумя способами: последовательным и параллельным. В первом случае все предусмотренные рецептурой компоненты концентрированного комбикорма подаются последовательно по одной линии потока. Во втором случае однородные компоненты по своим физико-механическим свойствам подаются одновременно из нескольких точек.

Способ приготовления и подачи компонентов влияет на выбор размеров наддозаторных бункеров, режимы дозирования и смешивания, качество и производительность линии. Тем не менее, очень часто на практике определяется исходя из возможности создания максимальных запасов наддозаторных бункеров. Это приводит к удлинению непродуктивного периода работы цеха (или предприятия). Поэтому определение оптимального режима работы дозирующей системы с практической стороны чрезвычайно важно как для упрощения технологического процесса, разработки качественной схемы смешивания, так и для минимальных затрат времени на процесс.

Технологическую линию можно представить как приготовления комбикормов из компонентов n по рецепту k на системе линий m .

Выполняем следующую индексацию: j – номер строки (при этом максимальное количество компонентов, готовых к выдаче, $j = 1, 2, \dots, m$); i – номер компонента ($i = 1, 2, \dots, n$); n_j – число компонентов, подлежащих выдаче в строке j , $n_j < n$. Минимальное количество наддозаторных бункеров не должно быть меньше максимального количества компонентов, которые одновременно будут входить в состав концентрированного комбикорма по любому рецепту k .

Оптимальные размеры наддозаторного (направленный в смеситель) бункера (рис. 1) определяются после решения k количества однотипных задач (по количеству рецептов). После решения каждого из этих задач размеры бункера определяются в соответствии с выбранной рецептурой. После этого из полученных значений для каждого бункера выбирается максимальная, и это значение считается оптимальным.



Рис. 1. Система дозаторов, подключенных к смесителю

Результаты исследований. Решение такой задачи начинается с моделирования работы основной линии (выдача зерновых компонентов). Работа наддозаторного бункера начинается с определения временной характеристики начального, текущего, завершающего циклов работы бункера и рабочих циклов. Надо учитывать, что изначально все бункеры пустые и каждый бункер рассчитан только на один компонент.

Перед началом приготовления концентрированного комбикорма предусматривается присоединение к циклу сперва первого компонента, затем другого и т.д. (сюда не входит только основ-



ной компонент, который по массе больше в составе). Дозировка этих компонентов начинается одновременно.

В качестве текущего рабочего цикла берется период между двумя повторными входами первого компонента в цикл. Последний рабочий цикл - это период, в течение которого все дозаторы должны быть освобождены. Этот период может измениться, когда рецепт изменится. А это (расстановка дозаторов по новому рецепту) можно сделать только после окончания текущего цикла.

Принимаем следующие обозначения начальных и отчетных параметров: x_{0i} –подключение компонента i ($i = 1, 2, \dots, n$) к нулевому рабочему циклу, что означает, что компонент i нулевого рабочего цикла собирается в наддозаторном бункере до тех пор, пока другие компоненты не будут подготовлены для обеспечения непрерывности во время работы; x_{1i} -окончательное подключение рабочего цикла компонента i к циклу; Π_i – продуктивность приготовления компонента i , кг/ч; d_i – продуктивность дозирования компонента i , кг/ч; $(\Pi_i - d_i)$ – объем накопления компонента i в наддозаторном бункере за период дозирования, в течение 1 ч, кг; $\frac{x_{1i}}{(\Pi_i - d_i)}$ – время, необходимое для включения компонента i в текущий цикл, ч; $t_{i,i+1}$ – время ($i = 1, 2, \dots, n; t_{n,n+1} = t_{n1}$), необходимое для перехода строки из компонента i в следующий компонент ($i+1$); $\sum t$ – общее время переходов в цикле

$$\sum t = \sum_{i=1}^n t_{i,i+1}. \quad (1)$$

Для нахождения искомых значений (x_{0i} в x_{1i}) необходимо решить систему линейных алгебраических уравнений $2n$ с неизвестной величиной $2n$.

$$\left. \begin{aligned} x_{01} &= d_1 \left(\frac{x_{0n}}{\Pi_n - d_n} + t_{n1} \right); \\ x_{02} &= d_2 \left(\frac{x_{0n}}{\Pi_n - d_n} + t_{n1} + \frac{x_{11}}{\Pi_1 - d_1} + t_{12} \right); \\ x_{03} &= d_3 \left(\frac{x_{0n}}{\Pi_n - d_n} + t_{n1} + \frac{x_{11}}{\Pi_1 - d_1} + t_{12} + \frac{x_{12}}{\Pi_2 - d_2} + t_{23} \right); \\ &\dots \\ x_{0n} &= d_n \left(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{x_{0i}}{\Pi_i - d_i} + \sum t \right); \\ x_{11} &= d_1 \left(\frac{x_{0n}}{\Pi_n - d_n} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{x_{1i}}{\Pi_i - d_i} + \sum t \right); \\ x_{12} &= d_2 \left(\frac{x_{0n}}{\Pi_n - d_n} + \frac{x_{11}}{\Pi_1 - d_1} + \sum_{i=3}^{n-1} \frac{x_{1i}}{\Pi_i - d_i} + \sum t \right); \\ &\dots \\ x_{1,n-1} &= d_{n-1} \left(\frac{x_{0n}}{\Pi_n - d_n} + \sum_{i=1}^{n-2} \frac{x_{1i}}{\Pi_i - d_i} + \sum t \right); \\ x_{1n} &= x_{0n} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Решив эту систему уравнений, можно определить время, необходимое минимальному количеству дозаторов для включения в работу по каждому компоненту.

$$\left. \begin{aligned} T_{0i} &= \frac{x_{0i}}{\Pi_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n-1); \\ T_{1i} &= \frac{x_{1i}}{\Pi_i - d_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n); \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Составив график работы всей моделируемой линии, можно определить продолжительность начального и текущего рабочих циклов.



Дифференциальное уравнение движения доли корма выглядит следующим образом:

$$\omega' + \left(-\frac{fR}{R_k} \right) \omega^2 = \frac{fg}{R_k}, \quad (8)$$

где f – коэффициент трения кормового компонента со стенкой дозирующего объема; R – внутренний радиус барабана, м; R_k – расстояние от вала барабана до центра тяжести кормовой массы, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

При составлении формулы (8) было принято, что под действием тангенциальных сил при выгрузке кормового компонента из дозатора он не сжимается.

Чтобы барабан не имел больших размеров, дозировку желательно определять не по объему, а по частоте ω вращения вала. Однако максимальная относительная погрешность в ряде конструкций, в которых частота вращения выбирается в качестве регулятора, составляет 12–13 %. А это отрицательно сказывается на точности дозирования. Учитывая это, основное внимание следует уделить повышению точности регулировки дозирования в соответствии с частотой ω вращения барабана.

Установлено, что изменение R_k связано со следующей зависимостью:

$$R_k(t) = R_k + [1 - \exp(-\alpha t)], \quad (9)$$

где t – время выгрузки корма из дозатора, мин; α – регулирующий коэффициент, учитывающий свойство кормового компонента и дозируемый объем.

Этот коэффициент выбирается по условию минимизации оператора:

$$J = \int_0^t \left[(R_k^e(t) - R_k^m(t)) \right]^2 dt, \quad (10)$$

где R_k^m , R_k^e – значения радиусов, вычисленные и экспериментально полученные на электронно-вычислительной машине.

Тогда уравнение (8) можно записать следующим образом:

$$\omega' + \left(-\frac{fR}{R_k + [1 - \exp(-\alpha t)]} \right) \omega^2 = \frac{fg}{R_k [1 - \exp(-\alpha t)]}. \quad (11)$$

Чтобы обеспечить устойчивое решение уравнения (11) на компьютере, необходимо выполнить следующую операцию:

$$\omega' = \frac{U'}{UF(t)}, \quad (12)$$

где

$$F(t) = \frac{fR}{\{R_k + [1 - \exp(-\alpha t)]\}}. \quad (13)$$

Приводим уравнение (11) к следующему виду:

$$U'' + P(t)U' - q(t)U = 0, \quad (14)$$

где

$$P(t) = \frac{\alpha \exp(-\alpha t)}{R_k + [1 - \exp(-\alpha t)]}; \quad (15)$$

$$q(t) = \frac{fgR}{\{R_k + [1 - \exp(-\alpha t)]\}^2}. \quad (16)$$

Уравнение (14) целесообразно решать численным методом. Для построения численного алгоритма решения используем метод ранжирования. Находим общее решение следующим образом:



$$U(t) = \sum_{n=0}^{\infty} U_n \frac{t^n}{n!}. \quad (17)$$

Для упрощения программирования на компьютере запишем однородное дифференциальное уравнение (14) в следующей форме:

$$U_{n+1} + \sum_{\kappa=0}^n \binom{n}{\kappa} P_{\kappa} U_{n-\kappa+1} + \sum_{\kappa=0}^n q_{\kappa} U_{n-\kappa} = 0. \quad (18)$$

Упрощенная блок-схема алгоритма решения этого уравнения приведена во 2-м приложении. Решение уравнения (18) было выполнено по следующим параметрам: $R_k = 0,15$ м; $R = 0,25$ м; $f = 0,6 \dots 0,75$ м, $d = 0,12 \dots 0,31$ м.

Полученные результаты позволяют определить схему и режим работы дозаторной системы с мешалкой для приготовления многокомпонентного, полнорационного концентрированного комбикорма.

Заключение. Вариация состава концентрированного комбикорма имеет широкие возможности. Здесь на основе местных кормовых ресурсов возможна экономия фуражного зерна, трудовых, инвестиционных и энергетических затрат, составление оптимального плана использования кормовых компонентов, с разработкой эффективных технологий и технических средств. Для достижения высокой точности в дозаторе барабанного типа надо обеспечивать стабильный поток питательного компонента из наддозаторного бункера в дозирующий объем. Экспериментальными исследованиями установлено, что эти условия удовлетворяются при наклоне передней и задней стенок дозатора на $60 \dots 90^\circ$ и $40 \dots 60^\circ$ соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О посевной площади, сборе урожая и урожайности сельскохозяйственных культур по Азербайджанской Республике в 1998 году. Баку, 1999. 109 с.
2. Обзор сельского хозяйства Азербайджанской Республики. Баку, 2000. 128 с.
3. Указ Президента Азербайджанской Республики о программе социально-экономического развития регионов // Республиканская газета. Баку, 2004.
4. Статистические данные Азербайджанской Республики. Баку, 2010. 628 с.
5. Бабаев А. Дневник фермера. Баку, 2003. 6 с.
6. Джамалов А.Т. Смешивание сыпучих концентрированных кормов с жидкими добавками путем создания кипящего слоя // Сборник научных трудов АСХА. Гянджа, 2005. С. 49–52.
7. Джамалов А.Т. Агрегат улучшенной мощности для приготовления концентрированных комбикормов. Гянджа, 2006. 31 с.
8. Алиев Б.М. Совершенствование линии по производству гранулированных кормов // Азербайджанская аграрная наука. 2007. № 6–7. С. 155–157.
9. Гаджиев Ф.Х. Устройство для приготовления качественной кормовой смеси // Информационный лист АНИЭИ. Баку, 1994. № 8. С. 4.
10. Хасанов Ф.Д. Моделирование технологии предприятия производства концентрированного комбикорма регионального масштаба // Сборник научных трудов АСХА. Гянджа, 2004. С. 94–96.
11. Хасанов Ф.Д. Моделирование оптимального плана расположения централизованного кормового предприятия, обслуживающего фермерские хозяйства // Сборник Новостей Гянджинского Регионального Научного Центра НАНА. Гянджа, 2006. № 21. С. 57–60.
12. Гурбанов Х.Х. Технологические машины в животноводстве. Гянджа, 2005. 450 с.
13. Мамедов Г.Б. Технологические особенности современного животноводства // Азербайджанская аграрная наука. 2006. № 5–6. С. 111–112.
14. Мамедов Э.С. Некоторые вопросы технологии подачи сала в концентрированные комбикорма // Азербайджанская аграрная наука. 2005. №1–2. С. 216–217.
15. Александров С.Н., Прокопенко Е.В. Промышленное содержание свиней. М., 2004. 123 с.
16. Алиев К.И. Методология обоснования технической оснащенности растениеводства, параметров и размещения машинно-технологических станций в условиях реформирования аграрного сектора Республики Азербайджан: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург-Пушкин, 2001. 45 с.



17. Вольф В.Г. Статическая обработка данных. М., 1966. 255 с.

18. Гасанов Ф.Д. Моделирование рационального использования компонентов // Комбикорма. 2007. № 2. С. 24–25.

19. Гончарова З.Д. Процессы и оборудования для смешивания ингредиентов комбикормов. М., 1999. 44 с.

20. Ильин И. Техника для животноводства и кормопроизводства: что нового? // Животноводство. 2003. № 3. С. 2–4.

REFERENCES

1. On the sown area, harvesting and productivity of agricultural crops in the Republic of Azerbaijan in 1998. Baku, 1999. 109 p. (In Russ.)

2. Review of agriculture in the Azerbaijan Republic. Baku, 2000. 128 p. (In Russ.)

3. Decree of the President of the Republic of Azerbaijan on the program of socio-economic development of the regions. *Republican newspaper*. Baku, 2004. (In Russ.)

4. Statistical data of the Azerbaijan Republic. Baku, 2010. 628 p. (In Russ.)

5. Babaev A. Diary of a farmer. Baku, 2003. 6 p. (In Russ.)

6. Jamalov A.T. Mixing loose concentrated feed with liquid additives by creating a fluidized bed. *Collection of scientific papers ASHA*. Ganja, 2005: 49-52. (In Russ.)

7. Jamalov A.T. The unit of the improved power for preparation of the concentrated compound feeds. Ganja, 2006. 31 p. (In Russ.)

8. Aliev B.M. Improvement of the line for the production of granular feed. *Azerbaijan agrarian science*. 2007; 6-7: 155-157. (In Russ.)

9. Gadzhiev F.Kh. A device for the preparation of high-quality feed mixture. *ANIEI information sheet*. Baku, 1994; 8: 4. (In Russ.)

10. Khasanov F.D. Modeling the technology of an enterprise for the production of concentrated mixed fodder on a regional scale. *Collection of scientific papers of the ASHA*. Ganja, 2004: 94-96. (In Russ.)

11. Khasanov F.D. Modeling the optimal plan for the location of a centralized feed enterprise serving farms. *Collection of News of the Ganja Regional Scientific Center of ANAS*. Ganja, 2006; 21: 57-60. (In Russ.)

12. Gurbanov Kh.Kh. Technological machines in animal husbandry. Ganja, 2005. 450 p. (In Russ.)

13. Mamedov G.B. Technological features of modern animal husbandry. *Azerbaijan agrarian science*. 2006; 5-6: 111-112. (In Russ.)

14. Mamedov E.S. Some questions of the technology of feeding lard into concentrated compound feed. *Azerbaijan agrarian science*. 2005; 1-2: 216-217. (In Russ.)

15. Alexandrov S.N., Prokopenko E.V. Industrial keeping of pigs. Moscow, 2004. 123 p. (In Russ.)

16. Aliev K.I. Methodology for substantiating the technical equipment of plant breeding, parameters and placement of machine-technological stations in the conditions of reforming the agrarian sector of the Republic of Azerbaijan. St. Petersburg-Pushkin, 2001. 45 p. (In Russ.)

17. Wolf V.G. Static data processing. Moscow, 1966. 255 p. (In Russ.)

18. Gasanov F.D. Modeling the rational use of components. *Mixed feed*. 2007; 2: 24-25. (In Russ.)

19. Goncharova Z.D. Processes and equipment for mixing ingredients of compound feed. Moscow, 1999. 44 p. (In Russ.)

20. Ilyin I. Equipment for animal husbandry and fodder production: what's new? *Animal husbandry*. 2003; 3: 2-4. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 26.04.2022; одобрена после рецензирования 22.05.2022; принята к публикации 2.06.2022.

The article was submitted 26.04.2022; approved after reviewing 22.05.2022; accepted for publication 2.06.2022.

