

Оптимизация конструкции и рабочих параметров дозатора

Улдуз Юнис Сафарова, Шафига Джахангир Джафарова, Гюнель Рафаиль Халилова

Азербайджанский государственный аграрный университет, г. Гянджа, Республика Азербайджан

e-mail: ulduz.safarova.30333@adau.edu.az

Аннотация. В настоящее время аграрная политика в Республике Азербайджан направлена на интенсификацию производства мяса, молока, яиц и шерсти. Тем не менее, производство кормов в республике пока неудовлетворительное как по общему объему, так и по качеству. В Азербайджане, по сравнению со странами Прибалтики, с учетом поголовья животных расход кормовых единиц в животноводстве в 4,3 раза меньше. В особенности производство концентрированных комбикормов, которое компенсирует недостаток питательных веществ, минералов и витаминов в других кормах, достаточно низкое. В связи с этим решение стоящих перед нами задач возможно путем создания многокомпонентного, полнорационного концентрированного комбикорма для местных условий и дозатора-смесителя - простой конструкции, способного это реализовать, иными словами, путем технологического и конструктивного совершенствования производственной линии. Учитывая актуальность вопроса и его научно-практическую значимость, данная исследовательская работа направлена на совершенствование технологии предприятий по производству полнорационных концентрированных комбикормов.

Ключевые слова: сельское хозяйство; животноводство; оптимизация; конструкция; дозатор.

Для цитирования: Сафарова У. Ю., Джафарова Ш. Д., Халилова Г. Р. Оптимизация конструкции и рабочих параметров дозатора // Аграрный научный журнал. 2023. № 8. С. 139–146. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i8pp139-148>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Optimization of the design and operating parameters of the dispenser

Ulduz Yu. Safarova, Shafiga J. Jafarova, Gunel R. Khalilova

Azerbaijan State Agrarian University, Gyandzha, Republic of Azerbaijan

e-mail: ulduz.safarova.30333@adau.edu.az

Abstract. Currently, the agrarian policy in our republic is aimed at intensifying the production of meat, milk, eggs and wool. Nevertheless, feed production in the republic is still unsatisfactory both in terms of total volume and quality. In Azerbaijan, in comparison with the Baltic's countries, taking into account the number of animals, the consumption of feed units in animal husbandry is 4.3 times less. In particular, the production of concentrated compound feeds, which compensates for the lack of nutrients, minerals and vitamins in other feeds, is quite low. In this regard, the solution of the tasks facing us is possible by creating a multicomponent, full-fledged concentrated compound feed for local conditions and a dispenser-mixer - a simple design capable of implementing this, in other words, by technological and constructive improvement of the production line. Taking into account the relevance of the issue and its scientific and practical significance, this research work is aimed at improving the technology of enterprises producing full-fledged concentrated compound feeds.

Keywords: agriculture; animal husbandry; optimization; design; dispenser.

For citation: Safarova U. Yu., Jafarova S.J., Khalilova G.R. Optimization of the design and operating parameters of the dispenser // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(8):139–146. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i8pp139-148>.

Введение. 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 отрасли животноводства, что напрямую связано с созданием прочной кормовой базы. Обеспечение животных сбалансированными по питательности полнорационными кормами в соответствии с планируемой продуктивностью является одним из решающих условий, повышающих коэффициент продуктивности и качество. 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 [1, 3, 5].

Приготовление сбалансированных кормов – это трудоемкий и энергоемкий процесс, специально разработанный для кормления сельскохозяйственных животных, который включает в себя питательные вещества растительного, животного, органического и искусственного происхождения [3, 6, 8]. Для сбалансированности кормов по питательным веществам целесообразнее его готовить из смеси кормов и кормовых добавок, или концентрированных комбикормов. В состав такого корма входит до 50 ингредиентов и большую часть рациона составляют зерна.

В связи с переходом частного хозяйства к рыночным условиям 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 энергии за счет улучшения переваривания, усвояемости корма и повышения его питательной ценности [1, 2, 7, 10].

Наиболее перспективным способом кормления в животноводстве считается использование комбикормов, где есть возможность включения в состав кормов отходов дешевых грубых кормов, полученных в пищевой промышленности и переработки сельскохозяйственной продукции, что позволяет экономить на дорогостоящих и зачастую труднодоступных зернах, а также повысить продуктивность животных на 7...10 % за счет снижения расхода кормов на 15...20 % [3, 9, 11]. Рецептурный состав концентрированного комбикорма в зависимости от его назначения в качестве основного компонента может основываться на ячмене, овсянке, пшеничном и кукурузном муках. Список незерновых ингредиентов гораздо шире и включает отруби, травяную муку, сенную муку, жмых, мелассу и т. д. [3, 10].

В качестве добавок животного происхождения чаще используется рыбная мука, мясо-костная мука, а иногда и жир. Кроме того, с целью снижения заболеваемости животных в корм добавляют белково-витаминную добавку, антибиотики и другие лекарственные препараты.

В зависимости от возрастных и половых особенностей животных в состав концентрированных комбикормов добавляется поваренная соль, различные микроэлементы, в том числе кальций, фосфор, магний, калий, железо, цинк, кобальт, марганец, йод и др. [1, 3, 5].

Состав рассыпной многокомпонентной кормовой смеси можно классифицировать как на рис. 1, объединив ее в четыре большие группы.

Эти группы, как видно из рисунка, состоит из основных компонентов, специфических добавок для конкретных видов животных, микро-добавки и пищевые добавки в соответствии с физиологическим состоянием животного и направлению его производства. Как известно, пищеварение корма играет решающую роль в повышении продуктивности животных.

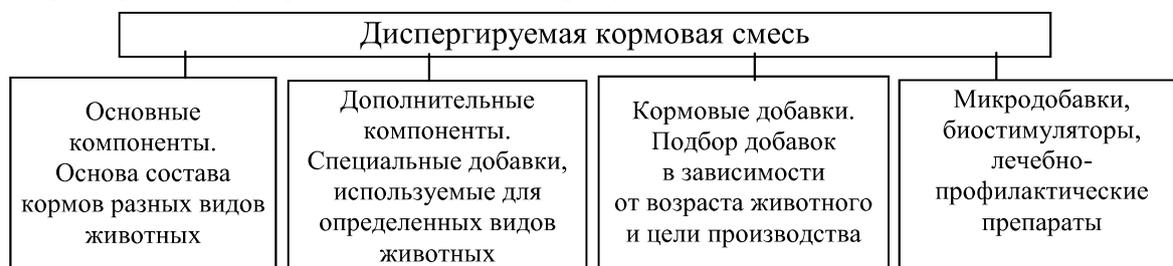


Рис. 1. Классификация компонентов, входящих в состав многокомпонентных диспергируемых комбикормов

Многочисленными экспериментами [5] было доказано, что при откорме быков грубыми кормами среднесуточный прирост массы составлял 0,87 кг при уровне усвояемости корма 65 %, а среднесуточный прирост массы – 0,42 и 0,14 кг при уровне усвояемости корма 60 и 55 % соответственно. При кормлении животных только грубыми кормами и при уровне усвояемости корма





менее 50 % увеличение массы практически невозможно, а удой молока происходит за счет снижения живой массы животного. А повышение усвояемости корма с 55 до 65 % позволяет довести удой с 4,5 до 19 кг/сут. Особое значение в повышении усвояемости имеет использование грубых кормов в составе концентрированных комбикормов. При этом в составе используемых в нашей республике традиционных концентрированных комбикормовых 83,3 % составляют фуражные зёрна. В ряде стран с использованием грубых кормов удалось значительно сэкономить фуражное зерно в составе концентрированных комбикормовых. Так, в Соединенных Штатах Америки (США) использование фуражного зерна в составе концентрированного комбикорма составляет 50 %, в Великобритании – 33 %, в Нидерландах – 17 %, в Бельгии – 15 %.

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

Методика исследований. Теоретические исследования основаны на математическом моделировании определения оптимального состава комбикормов, их дозирования и смешивания. В исследованиях использовались основные положения и законы классической механики и математики. Предложенная экспериментальная установка для приготовления концентрированных комбикормов, ее основные узлы исследованы в лабораторных и производственных условиях по стандартным и специальным методикам. В выбранной конструкции дозатора дозирующий объем регулируется в соответствии с типом компонентов корма, а подача нужной нормы в общую массу – частотой вращения барабана. При этом частота вращения барабана должна быть выбрана таким образом, чтобы дозирующий объем за один цикл полностью разгрузился. На основе модели процесса установлена теоретическая зависимость частоты вращения барабана от времени разгрузки дозирующего объема. Эта зависимость была проверена экспериментальным путем и на основе полученных отчетов и экспериментальных оценок был составлен график (рис. 2).

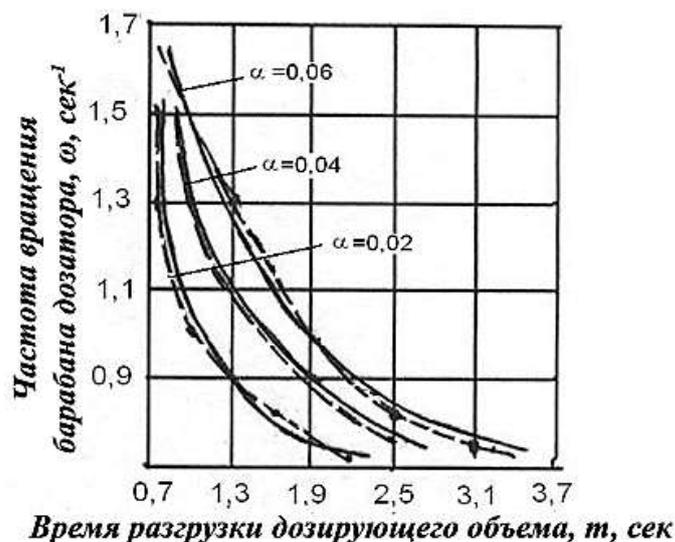


Рис. 2. Кривые зависимости частоты вращения барабана дозатора от времени разгрузки дозирующего объема:
α – коэффициент выпрямления, учитывающий объем и состав компонента;
————— теоретический; - - - - - экспериментальный

Как видно из графика, чем быстрее разгружается дозирующий объем компонента, тем меньше частота вращения барабана. Следует отметить, что более низкие частоты вращения барабана способны обеспечить более точное измерение. Это зависит от заранее отрегулированного объема дозатора. С другой стороны, частота вращения барабана зависит от состава компонента, а точнее от того, обладает ли он сложными или легко рассыпающимися свойствами. Для трудно рассыпающихся кормов ($\alpha = 0,12$) требуется, чтобы частота вращения барабана была низкой.

Для проверки этих расчетов экспериментальным путем установлено влияние коэффициента ($\alpha = \frac{V}{\varphi}$, где V – объем дозатора, л; φ – угол естественного распространения кормового компонента) на погрешность дозирования дозатора (ν – коэффициент вариации распределения компо-



нента в основной массе, %), учитывающего отдельно частоту вращения барабана ω и характер компонента с дозирующим объемом. На основе полученных значений были составлены графики зависимостей (рис. 3, 4).

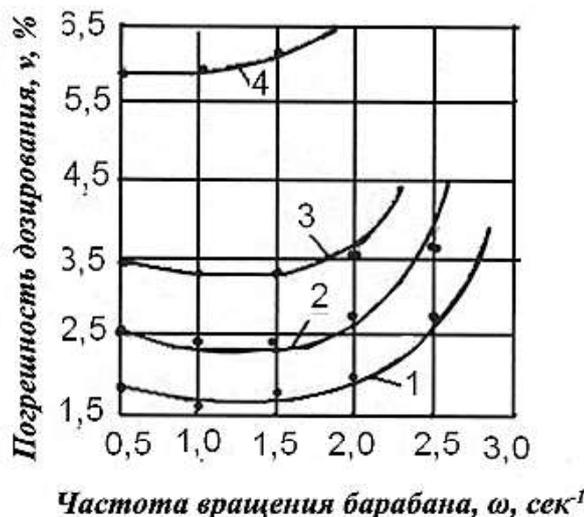


Рис. 3. Кривые зависимости погрешности дозирования от частоты вращения барабана: 1 – ячмень; 2 – минеральные комплексы; 3 – жмыховая мука; 4 – соломенный порошок

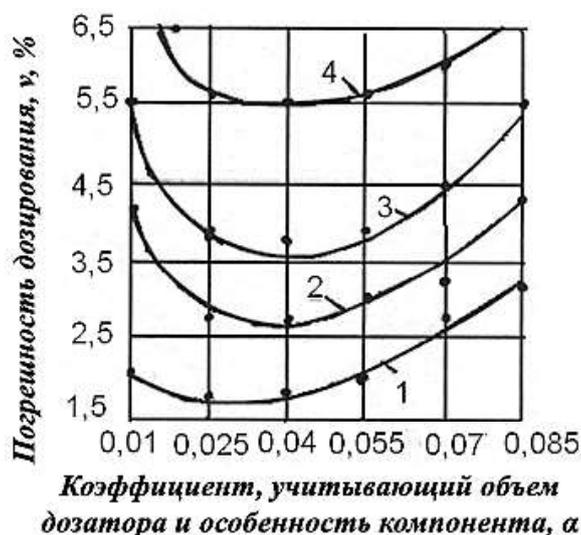


Рис. 4. Кривые зависимости погрешности дозирования от коэффициента α : 1 – ячмень; 2 – минеральные комплексы; 3 – жмыховая мука; 4 – соломенный порошок

Результаты исследований. Исследованием установлено, что наименьшее значение погрешности дозирования (v – вариационный коэффициент) компонентов концентрированных комбикормов (ячмень, минеральные комплексы, жмыховая мука, соломенный порошок) составило 1,75 % для взбитого ячменя, 2,25 % – для минеральных комплексов, 3,85 % – для жмыховой муки и 5,58 % – для соломенного порошка. Эти значения соответствуют частоте вращения барабана 1...1,5 с⁻¹. Несмотря на то, что точность дозирования больше всего в ячмене, минеральных комплексах и жмыховой муке, а меньше всего в соломенном порошке, в целом они находятся в пределах допустимых погрешностей.

Погрешность дозирования по коэффициенту, учитывающему объем дозатора и свойства кормового компонента, чаще всего наблюдается в труднорассыпающихся материалах (материалах с большим естественным углом распространения). Минимальные значения погрешности дозирования всех компонентов составляют 0,025...0,04 к коэффициенту α . Если принять постоянный угол естественного распространения компонентов корма, то получается, что резкое увеличение погрешности дозирования возможно как при малых, так и при больших значениях дозирующего объема. Здесь можно определить оптимальное значение объема по экстремуму кривых. Для молотого ячменя ($v = 1,75\%$) необходимо использовать значение $\alpha = 0,025$, для минеральных

комплексов ($v = 2,75 \%$) - значение $\alpha = 0,04$, а для соло-менного порошка ($v = 5,5 \%$) – значение $\alpha = 0,04$.

Практика показала, что на точность дозирования также в определенной степени влияет конструкция наддозаторного бункера. Геометрическая форма бункера должна быть подобрана таким образом, чтобы не было препятствий для заполнения дозирующего объема барабана кормовыми компонентами.

Для проведения исследований в лабораторных условиях были использованы бункеры различных геометрических форм (рис. 5), в основном использовались бункеры с измененным положением их боковых стенок. Геометрическая форма барабанного дозатора в основном характеризуется углами наклона покрова и заслона (β, ϵ), а также углами наклона стенок бункера (β_1, ϵ_1). Для контроля притока питательного компонента в бункер использовался вариант, боковую стенку которого можно демонтировать и заменить в любой момент органическим стеклом. По результатам эксперимента разделим движущийся в бункере кормовой компонент на условные зоны (рис. 5): I – зона расхода; II – зона подачи; III – зона медленного оседания; IV – зона приема дозатором; V – зона застоя; VI – зона вращения; VII – зона подъема.

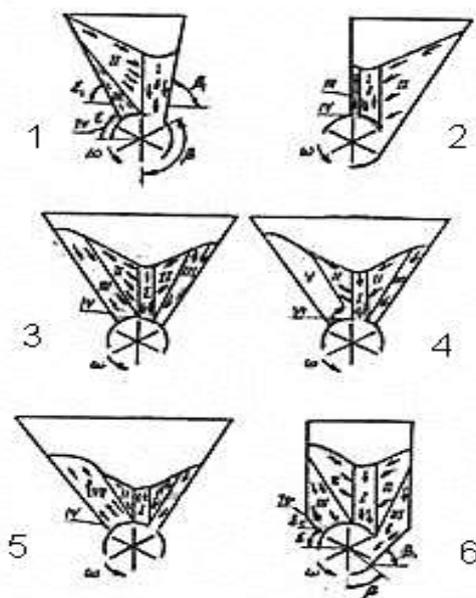


Рис. 5. Характеристика движения кормового компонента в экспериментальных наддозаторных бункерах:

- 1 – передняя стенка наклонная – задняя стенка менее наклонная;**
- 2 – передняя стенка вертикальная – задняя стенка наклонная;**
- 3 – передняя и задняя стенки с одинаковым наклоном;**
- 4 – передняя и задняя стенки с неодинаковым наклоном;**
- 5 – наклон передней стенки увеличен; 6 – передняя и задняя стенки вертикальные;**
- I – зона расхода; II – зона подачи;**
- III – зона медленного оседания; IV – зона приема дозатором;**
- V – застойная зона; VI – зона вращения; VII – зона подъема**

В зоне расхода частицы компонентов движутся вниз в вертикальном направлении с максимальной скоростью (циклами). Высота кормового компонента в этой зоне значительно меньше, чем в других зонах. В зоне подачи частицы кормового компонента движутся не вертикально, а в направлении зоны расхода. Следует отметить, что большая часть массы корма стекает в верхнюю часть зоны расхода. Это связано с тем, что сверху образуется углубление. Угол наклона этого углубления равен естественному углу наклона кормового компонента. Скорость подачи корма в этой зоне значительно меньше скорости подачи в первой. По мере удаления от центра эта скорость становится меньше.

Зона медленного осаждения образуется рядом как с передней, так и с задней стенкой бункера. Из зоны прилегающей к задней стенке бункера кормовой компонент в начальный момент начинает поступать в дозирующий объем барабана. А из зоны, прилегающей к передней стенке бункера, поток кормового компонента завершает окончательное наполнение объема. Скорость потока кор-





мового компонента в этой зоне меньше скорости потока в I и II зонах. С поверхности кормового компонента частицы стекают в зону расхода, проходя через зону подачи.

Зона приема дозатором находится на линии соприкосновения с вращающимся барабаном. Кормовой компонент, подаваемый в дозирующий объем барабана, под действием силы трения притягивает к себе из бункера новую массу. Этот кормовой компонент перетаскивается к передней стенке бункера, в результате чего образуется зона приема компонента дозами толщиной 2...4 мм. Часть кормового компонента проходит через дозирующий объем барабана, а часть сжимается в передней стенке бункера.

Зона вращения происходит в бункере с небольшим наклоном передней стенки. Из зоны приема дозатором частицы кормового компонента, упавшие на переднюю стенку бункера, поднимаются вверх и перемещаются в зону подачи. Застойная зона образуется из-за того, что кормовой компонент в этой зоне не разгружается. Зона подъема кормовых компонентов образуется в том случае, если упавшие на переднюю стенку бункера частицы кормового компонента не проходят в зону подачи и расхода.

При работе дозатора эта зона постепенно поднимается. Кормовой компонент здесь переходит в дозирующий объем только после исчерпания кормового компонента в I и II зонах.

Практика показала, что в зависимости от геометрической формы бункера далеко не всегда все зоны образуются. Количество и сочетание этих зон зависит от углов наклона стенок бункера (β_1, ϵ_1). Результаты наблюдений приведены в таблице 1. Нахождение зон обозначено х.

Таблица 1

Границы зон движения кормового компонента в наддозаторном бункере

Тип бункера	Параметры бункеров		Зоны						
	β_1 , градус	ϵ_1 , градус	I	II	III	IV	V	VI	VII
Передняя стенка с наклоном – задняя стенка с меньшим наклоном	60...90	60...90	х	х	х	х	–	–	–
Передняя стенка вертикальная – задняя стенка с наклоном	40...60	60...90	х	х	х	х	–	–	–
Передняя и задняя стенки с одинаковым наклоном	40...60	40...50	х	х	х	х	–	–	х
Передняя и задняя стенки с неравномерным наклоном	40...80	90	х	х	х	х	–	–	–
Передние стенки с увеличенным наклоном	40...60	50...60	х	х	х	–	х	х	–
Передняя и задняя стенки вертикальные	40...60	40...60	х	х	х	х	–	–	–

Нужно постараться, чтобы в бункере не было застойных и подъемных зон. Желательно, чтобы зона медленного оседания также была минимальной. Как видно из таблицы 1, бункеры 1, 2, 4, 6 подходят по поточности кормовых компонентов в наддозаторном бункере.

На точность дозирования, кроме подвижности кормового компонента в над дозаторном бункере, влияют также углы наклона (β , ϵ) покрытия и заслона барабана. Их влияние изучалось в лабораторных условиях и на основе полученных значений строились кривые зависимости (рис. 6).

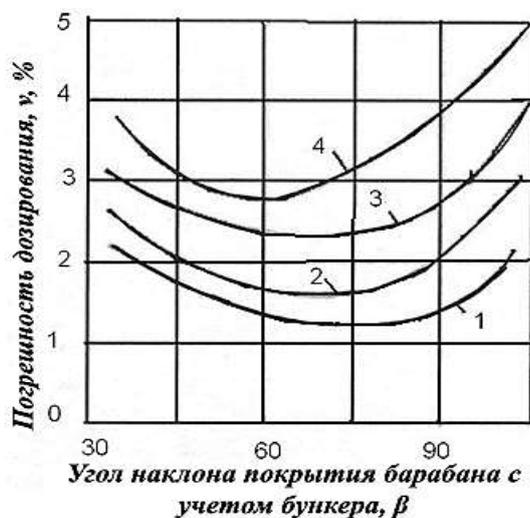


Рис. 6. Кривые зависимости угла наклона β при различных значениях ϵ от погрешности дозирования:
1 – $\epsilon=40^\circ$; 2 – $\epsilon=60^\circ$; 3 – $\epsilon=70^\circ$; 4 – $\epsilon=90^\circ$

Результаты исследований показывают, что дозатор работает с минимальной погрешностью ($v = 1,3...1,6\%$), когда $\beta = 65...75^\circ$, $\varepsilon = 40^\circ$. Но угол β менее 60° и более 90° , а угол ε более $70...90^\circ$ способны негативно повлиять на точность дозирования. В частности, превышение наклона угла β более 90° приводит к ухудшению точности и качества работы дозатора.

В цехе по приготовлению концентрированных комбикормов, обслуживающем несколько хозяйств, наряду с вышеперечисленными задачами главным условием является обеспечение требуемой производительности дозатора. Здесь крайне важно установить соответствие дозирующего объема, его повторяемости и частоты вращения барабана с требуемой производительностью цеха, расположенного на локальной территории и обслуживающего его. По теоретическим расчетам суточный рабочий объем местного цеха должен быть не менее 2 т, а время приготовления корма не более 4 ч. Это обуславливает почасовую производительность не менее 600 кг с учетом времени на вспомогательные работы, подготовку, а также на операции в конце работы.

Это значит, что дозатор должен быть способен выдавать 167 г корма в секунду. Проведен эксперимент на основе математического метода планирования многофакторного процесса, принимая в качестве целевой функции производительность, частоту вращения барабана дозатора, радиус лопатки R , определяющий объем дозатора, и повторяемость подачи кормового компонента в общую кормовую смесь n переменных факторов. Уровни вариации факторов и интервалы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Уровни вариации факторов

Уровень	Закодированные символы	Факторы и их обозначение		
		ω , частота вращения барабана, c^{-1}	R , радиус лопатки регулирующий объем, м	n , количество повторов введения доз в общую смесь, раз
Верхний	+1	2,0	0,12	8
Основной	0	1,5	0,10	6
Нижний	-1	1,0	0,08	4

В результате реализации матрицы многофакторного эксперимента получено следующее уравнение регрессии, адекватное процессу дозирования в выбранном дозаторе барабанного типа:

$$y = 188,957 + 88,15x_1 + 5,167x_2 - 6,093x_3 + 3,339x_1x_2 - 2,21x_1x_3 - 1,99x_2x_3 + 1,484x_1^2 - 4,661x_2^2, \quad (1)$$

где y – кодовое обозначение производительности дозатора; x_1 – кодовое обозначение частоты вращения барабана; x_2 – кодовое обозначение радиуса лопатки, определяющее дозирующий объем; x_3 – кодовое обозначение количества повторных подач кормового компонента в общую кормовую смесь.

При переходе (1) от кодовых обозначений и значений к физическим индексам уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$Q = 143,13 + 72,96\omega + 7,825R - 8,15n + 1,418\omega R - 5,28\omega n - 0,871Rn + 1,111\omega^2 - 2,122R^2. \quad (2)$$

Отчет, выполненный по уравнению (2), показывает, что требуемая производительность обеспечивается, когда $\omega = 1,2 c^{-1}$, $R = 0,11$ м, $n = 4$. Эти условия обеспечивают подачу дозатором 175 г кормового компонента в секунду, что на 8 г больше необходимого. Здесь другие варианты ограничиваются тем, что увеличение частоты вращения барабана может привести к увеличению погрешности дозирования, увеличение радиуса лопатки, определяющей объем дозатора, – к увеличению габаритных размеров бункера, а увеличение количества повторных подач кормовых компонентов – к увеличению погрешности дозирования, так как общая погрешность зависит от количества ошибок в каждой части.

Заключение. На основе математического моделирования разработана информационно-отчетная база приготовления полноценных концентрированных кормов на основе минимальной себестоимости для различных групп животных. Разработанная программа хранится на магнитном





диске и позволяет решить вопросы, связанные с рационами, при минимальных затратах в любом хозяйстве и кормозаготовительном цехе.

Для достижения высокой точности в дозаторе объемно-барабанного типа должен быть обеспечен стабильный приток кормового компонента из наддозаторного бункера в дозирующий объем. Экспериментальными исследованиями установлено, что эти условия удовлетворяются при наклоне передней и задней стенок дозатора на 60...90° и 40...60° соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джамалов А.Т. Агрегат для приготовления улучшенного концентрированного комбикорма. Гянджа, 2006. 31 с.
2. Алиев Б.М. Совершенствование линии по производству гранулированных кормов // Азербайджанская аграрная наука. 2007. № 6–7. С. 155–157.
3. Гасанов Ф.Д. Обоснование параметров экспериментальной установки смесителя кормов для централизованного цеха кормов // Азербайджанская аграрная наука. 2007. № 6-7. С. 154–155.
4. Козловцев А.Т. Исследование процесса смешивания кормов лопастными рабочими органами // Азербайджанская аграрная наука. 2007. № 1–3. С. 260–262
5. Min Du, Stephen P. Ford, Mei-Jun Zhu. Optimizing livestock production efficiency through maternal nutritional management and fetal developmental programming // Animal Frontiers. 2017. Vol. 7. Iss. 3. P. 5–11, <https://doi.org/10.2527/af.2017-0122>.
6. Daniel Dooyum Uyeh, Rammohan Mallipeddi, Trinadh Pamulapati, Tusan Park, Junhee Kim, Seungmin Woo, Yushin Ha, Interactive livestock feed ration optimization using evolutionary algorithms // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 155. P. 1–11, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.031>.
7. A dual opposition-based learning for differential evolution with protective mechanism for engineering optimization problems 2021, Applied Soft Computing/
8. Daniel Dooyum Uyeh, Yushin Ha, Tusan Park, Animal feed formulation: Rapid and non-destructive measurement of components from waste by-products // Animal Feed Science and Technology. 2021. Vol. 274. 114848, ISSN 0377-8401, [-https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114848](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114848).
9. Uyeh, Daniel D., Juntae Kim, Santosh Lohumi, Tusan Park, Byoung-Kwan Cho, Seungmin Woo, Won S. Lee, and Yushin Ha.. Rapid and Non-Destructive Monitoring of Moisture Content in Livestock Feed Using a Global Hyperspectral Model // Animals 11. 2021. No. 5: 1299. <https://doi.org/10.3390/ani11051299>.
10. Paul Greenwood, Edward Clayton, Alan Bell. Animal Frontiers // Developmental programming and beef production. 2017. Vol. 7. Iss. 3. P. 38–47, <https://doi.org/10.2527/af.2017-0127>.

REFERENCES

1. Jamalov A.T. Unit for the preparation of improved concentrated compound feed. Ganja, 2006. 31 p.
2. Aliyev B.M. Improvement of the line for the production of granular feed. Azerbaijan Agrarian Science. 2007; 6–7: 155–157.
3. Hasanov F.D. Substantiation of the parameters of the experimental installation of a feed mixer for a centralized feed shop. Azerbaijan Agrarian Science. 2007; 6-7: 154–155.
4. Kozlovstev A.T. Investigation of the process of mixing feed with paddle working bodies. Azerbaijan Agrarian Science. 2007; 1-3: 260–262.
5. Ming Du, Stephen P. Ford, Mei-Jun Zhu. Optimizing livestock efficiency through maternal nutrition management and fetal development programming. Animal Frontiers. 2017; 7; 3: 5–11, <https://doi.org/10.2527/af.2017-0122>.
6. Daniel Duyum Uye, Rammohan Mallipeddi, Trinadh Pamulapati, Tusan Park, Junhee Kim, Seungmin Wu, Yushin Ha, Interactive optimization of livestock feeding rations using evolutionary algorithms. Computers and Electronics in agriculture. 2018; 155: 1–11, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.031>.
7. Dual opposition training for differential evolution with a protective mechanism for engineering optimization problems 2021, Applied soft computing.
8. Daniel Duyum Uye, Yushin Ha, Tusan Park, Animal Feed Formulation: Rapid and Non-destructive measurement of Components from Waste by-products. Animal Feed Science and Technology. 2021; 274: 114848, ISSN 0377-8401, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114848>.
9. Ue, Daniel D., Juntae Kim, Santosh Lohumi, Tusan Park, Ben Kwang Cho, Seungmin Woo, Won S. Lee and Yushin Ha. Fast and non-destructive monitoring of moisture content in livestock feed using a global hyperspectral model. Animals 11. 2021; 5: 1299. <https://doi.org/10.3390/ani11051299>.
10. Paul Greenwood, Edward Clayton, Alan Bell Animal Boundaries. Development Programming and Beef Production. 2017; 7; 3: 38–47, <https://doi.org/10.2527/af.2017-0127>.

*Статья поступила в редакцию 07.12.2022; одобрена после рецензирования 15.01.2023; принята к публикации 29.01.2023.
The article was submitted 07.12.2022; approved after reviewing 15.01.2023; accepted for publication 29.01.2023.*