

И.В. Миронова^{1, 2} ✉
Э.Х. Латыпова¹
Е.А. Никитин³
Д.А. Благов³

¹ Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

² Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

³ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

✉ mironova_irina-v@mail.ru

Поступила в редакцию:
26.01.2024

Одобрена после рецензирования:
11.04.2024

Принята к публикации:
25.04.2024

Review

Irina V. Mironova^{1, 2} ✉
Emilia H. Latypova¹
Evgeny A. Nikitin³
Dmitry A. Blagov³

¹ Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

² Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

³ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

✉ mironova_irina-v@mail.ru

Received by the editorial office:
26.01.2024

Accepted in revised:
11.04.2024

Accepted for publication:
25.04.2024

Системы и методы оценки гомогенности кормовых смесей для сельскохозяйственных животных

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Формируя рацион кормления животных, которые содержатся на современных животноводческих комплексах, фермер преследует исключительно рациональный подход с точки зрения продуктивности поголовья и срока продуктивного существования животных. В первую очередь обеспечение этих показателей формирует качество кормления животных, выражаемое в общей питательной ценности рациона и качестве смешивания компонентов, входящих в его состав.

Методы. Актуализация направления научного исследования была произведена на основе предварительного литературного обзора современных публикаций в международных журналах Journal of dairy science, Robotics and autonomous systems и Agriculture. Помимо этого, были проанализированы функциональные возможности современного аналитического оборудования мировых производителей, используемого в сельском хозяйстве. Рассмотрены технические решения экспонатов отраслевых выставок, а также сопроводительная документация. Изучены существующие методики определения гомогенности кормовых смесей для сельскохозяйственных животных, определены преимущества и недостатки.

Результаты. Рассмотрены существующие методы оценки гомогенности кормовых смесей. Предложена новая концепция построения системы определения гомогенности кормовых смесей оптическими методами, которая основана на экспресс-измерении оптических свойств компонентов кормовых смесей, на поверхности транспортной ленты или смесительного агрегата, использование которой позволит управлять временными режимами смешивания кормов и оценивать исправность используемых машин и агрегатов.

Ключевые слова: животноводство, кормление, приготовление кормовых смесей, комбикорма, гомогенность, оценка качества смешивания

Для цитирования: Миронова И.В., Латыпова Э.Х., Никитин Е.А., Благов Д.А. Системы и методы оценки гомогенности кормовых смесей для сельскохозяйственных животных. *Аграрная наука*. 2024; 382(5): 56–62.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-56-62>

© Миронова И.В., Латыпова Э.Х., Никитин Е.А., Благов Д.А.

Systems and methods for assessing the homogeneity of feed mixtures for farm animals (review)

ABSTRACT

Relevance. When forming a diet for feeding animals that are kept in modern livestock complexes, the farmer pursues an exceptionally rational approach in terms of livestock productivity and the period of productive existence of animals. First of all, the provision of these indicators forms the quality of animal feeding, expressed in the total nutritional value of the diet and the quality of mixing the components that make up its composition.

Methods. The updating of the direction of scientific research was carried out on the basis of a preliminary literary review of modern publications in the international journals Journal of dairy science, Robotics and autonomous systems and Agriculture. In addition, the functionality of modern analytical equipment from world manufacturers used in agriculture was analyzed. The technical solutions of the exhibits of industry exhibitions, as well as the accompanying documentation, are considered. The existing methods for determining the homogeneity of feed mixtures for farm animals have been studied, advantages and disadvantages have been identified.

Results. The existing methods for estimating the homogeneity of feed mixtures are considered. A new concept has been proposed for constructing a system for determining the homogeneity of feed mixtures by optical methods, which is based on express measurement of the optical properties of feed mixture components on the surface of a conveyor belt or mixing unit, the use of which will allow you to manage the temporary modes of mixing feeds and assess the serviceability of the machines and units used.

Key words: animal husbandry, feeding, preparation of feed mixtures, compound feeds, homogeneity, assessment of mixing quality

For citation: Mironova I.V., Latypova E.H., Nikitin E.A., Blagov D.A. Systems and methods for assessing the homogeneity of feed mixtures for farm animals. *Agrarian science*. 2024; 382(5): 56–62 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-56-62>

© Mironova I.V., Latypova E.H., Nikitin E.A., Blagov D.A.

Введение/Introduction

За последнее десятилетие кормление сельскохозяйственных животных и птицы сбалансированными кормовыми смесями на промышленных предприятиях показало свою эффективность в части повышения продуктивности и поддержания здоровья [1–4]. В связи с этим контроль гомогенности кормовых смесей (качество смешивания компонентов, входящих в состав) является одним из наиболее значимых технологических вопросов современного животноводства.

Гомогенность кормовых смесей обеспечивает равномерное распределение питательных веществ и компонентов корма в рационе. Неравномерность в распределении может привести к неправильному питанию животных и снижению их продуктивности.

Качественное смешивание корма способствует более полному и эффективному усвоению питательных веществ. Это позволяет животным получать все необходимые питательные вещества в правильных пропорциях, что способствует их здоровью, росту и развитию. Равномерное распределение питательных веществ в рационе позволяет животным максимально использовать их потенциал и достичь оптимальной продуктивности [5, 6]. Поэтому достижение надлежащей степени контроля смешивания комбикормов и определения их однородности — одна из основных задач для производителей кормовой продукции [7–9].

Важно отметить, что вопросы гомогенности кормов и их влияния на животноводство являются актуальными и широко обсуждаются в научных и практических кругах. Многие организации и ученые по всему миру проводят исследования и разрабатывают рекомендации по улучшению гомогенности кормов и оптимизации питания животных.

Ряд исследований и практические опыты показывают, что гомогенность кормов оказывает прямое влияние на пищеварение, усвоение питательных веществ и общее здоровье животных. Неравномерное распределение питательных веществ может привести к недостаточному питанию, неравномерному росту и развитию животных, а также возникновению проблем со здоровьем [10, 11].

Материалы и методы исследования / Materials and methods

На начальном этапе был произведен предварительный анализ современных публикаций в международных журналах *Journal of dairy science*¹, *Robotics and autonomous systems*² и *Agriculture*³. Далее были проанализированы функциональные возможности современного аналитического оборудования мировых производителей, используемого в сельском хозяйстве.

Рассмотрены технические решения экспонатов отраслевых выставок, а также сопроводительная документация.

Изучены существующие методики определения гомогенности кормовых смесей для сельскохозяйственных животных, определены преимущества и недостатки.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Привычное выражение «однородный комбикорм» вводит в заблуждение как производителей, так и зоотехнические службы предприятия. Показатель, отражающий однородность распределения по комбикорму некоторого индикаторного вещества, не является

характеристикой однородности смеси, поскольку не отражает распределение по ней других компонентов. Вопросу однородности кормов посвящается много исследований, но при этом в большинстве из них авторы не указывают число частиц в используемых индикаторных веществах, не всегда указывают природу индикаторного вещества, не приводят гранулометрическую характеристику основной смеси, а также ряд других физических характеристик смешиваемых веществ. Не указываются характеристики смесителей и объем их заполнения. В результате при отсутствии подробного описания условий экспериментов трудно объяснить часто противоречивые выводы, к которым приходят авторы, что вводит в заблуждение практических работников [12].

Существенный вклад в развитие исследований по повышению качества комбикормов, в том числе в части равномерного распределения питательных веществ, внесли российские ученые В.А. Афанасьев, Л.С. Кожарова, Н.И. Кузнецов, Я.Ф. Мартыненко, П.Н. Миончинский, Т.М. Околелова, И.Г. Панин, А.Д. Пелевич, Н.П. Черняев, О.Е. Щербакова и другие исследователи. Однако и до нынешних дней данная проблема пока еще не решена.

В настоящее время существует большое количество коммерческих решений для анализа однородности кормов — как для лабораторной диагностики, так и для использования в полевых условиях в виде портативных анализаторов. Для оценки качества, как правило, требуется специализированная лаборатория, которая является довольно дорогостоящей и требует значительных затрат времени и работы. Международным сотрудничеством по сближению технических требований к оценке кормовых ингредиентов (ICCF) разрабатываются и внедряются общие руководства, охватывающие технические требования к оценке кормовых ингредиентов, включая новые способы использования существующих кормовых ингредиентов. В руководящем документе рассматривается тестирование однородности кормовых ингредиентов при их включении в предназначенные для них матрицы (рыночные рецептуры ингредиентов, премиксы, корма, кормовые добавки и питьевая вода для животных), что говорит об актуальности проблемы не только у нас в стране, но и за рубежом [13, 14].

Для сельскохозяйственных предприятий вопросы качества кормов особенно актуальны, ведь корма — это наибольшие финансовые потоки в структуре себестоимости продукции животноводства и птицеводства. От качества кормов зависит безопасность не только самих животных и птицы, но и людей, которые потребляют продукцию животноводства.

Сегодня усиливается не только контроль готовой животноводческой продукции, но и кормов, а также сырья, которое входит в их состав. В связи с этим у производителя кормов должна быть твердая доказательная база качества их продукции, а для этого нужны быстрые и недорогие методы контроля процесса производства, качества дорогого сырья, особенно премиксов, витаминов, аминокислот, лекарственных препаратов, антиоксидантов, адсорбентов и др. Правильно рассчитать кормовую программу и составить рецептуру комбикормов для животных и птиц очень важно. Но комбикорма нужно выработать, и здесь важнейшая задача — точное дозирование и однородное смешивание всех компонентов [15–17].

Анализ литературных источников показал, что процесс смесеобразования тяжело описать математически.

¹ <https://www.journalofdairyscience.org/>

² <https://www.sciencedirect.com/journal/robotics-and-autonomous-systems>

³ <https://openagriculturejournal.com/>

Большинство научных работ направлено на определение конструкционных и технологических параметров смесителей и их рабочих органов. Из вышесказанного следует, что особое внимание необходимо уделять не только процессу смешивания, но и правильной оценке однородности продукта на выходе из смесителя [18, 19].

Известны следующие способы оценки качества смешивания материалов: весовой, рассеиванием на ситах, оптический. Первый и второй способы разрешают определять коэффициент неоднородности смеси, компоненты которой различаются или по весу, или по геометрическим параметрам. При третьем способе определение концентраций ключевого компонента проводится на основе сравнительного анализа способности компонентов смеси поглощать, отбивать и преломлять свет. К недостаткам этих способов следует отнести их трудоемкость и значительные затраты времени на проведение анализа качества [20, 21].

Как правило, для получения данных по качеству смешивания компонентов используют результаты определения так называемых индикаторов или микротрейсеров (МТ). К ним можно отнести хлориды (например, хлористый натрий), соединения фосфора, кальция, марганца и кобальта, а также витамины, аминокислоты, лекарственные препараты. Следует отметить, что метод применения соли как индикатора оценки качества смешивания путем определения содержания натрия или хлоридов в кормосмесях имеет серьезные недостатки, так как, во-первых, поваренную соль не всегда можно назвать микрокомпонентом (ее добавляют из расчета на 1 т от 2 до 20 кг), во-вторых, натрий и хлориды могут добавляться в корма с другими компонентами, что мешает верной оценке результатов [22, 23].

П.В. Писаренко, В.Е. Крикунова, Т.В. Сахно, О.А. Крикунов, Н.Н. Барашков предлагают применение для оценки качества однородности кормосмеси использовать нетрадиционные маркеры — ферромагнитные микротрейсеры, которые отвечают всем необходимым требованиям к индикаторам. Практический смысл разработанной методики с использованием ферромагнитных МТ состоит в том, что она позволяет прогнозировать отклонения от нормы любого питательного и биологически активного вещества в суточных рационах животных. Качественные результаты по определению и идентификации микротрейсеров в комбикормах могут быть получены с использованием банки Мейсона. Для количественной оценки качества смешивания и оценки уровня контаминации кормовых смесей рекомендовано использование вращательного детектора. Методика обсчета экспериментальных данных включает применение статистики Пуассона и расчет значений Хи квадрат [24, 25].

В последнее время предложены новые способы оценки качества смеси. Так, в [26] описан способ определения коэффициента неоднородности смеси трудно-разделимых сыпучих материалов, различающихся по цвету, который включает определение числа проб, минимально допустимого веса пробы, отбор проб смеси, нахождение концентрации ключевого компонента в пробе, вычисление коэффициента неоднородности смеси. При нахождении концентрации ключевого компонента содержание пробы сначала распределяют равномерным слоем на ровной поверхности, фотографируют или сканируют, затем проводят компьютерную обработку изображения, представляют его в виде массива чисел, каждый элемент которого выражен пикселем, а значение соответствует цвету компонента. Далее выбирают диапазон значений пикселей и присваивают

все пиксели, находящиеся в этом диапазоне, ключевому компоненту, а другому — все остальные пиксели, производят подсчет пикселей, соответствующих каждому компоненту, и определяют концентрацию ключевого компонента, по которой вычисляют коэффициент неоднородности смеси.

К недостаткам способа по патенту [27] следует отнести фиксированный порог бинаризации. Все значения гистограммы яркости полутонового изображения, превышающие порог 128, считаются светлыми гранулами, а остальные — темными, что в свою очередь накладывает ограничение в оценке качества смешивания энного количества компонентов в смеси. К недостаткам следует отнести и то, что при низкой яркостной градации оцениваемых смесей или слабом освещении при фотографировании данный метод становится неэффективным.

Близкий к изложенному способ определения качества смеси описан в работе [28]. При этом способе анализируется изображение поверхности смеси, перпендикулярной оси, вдоль которой смесь однородна. Изображение делится на пробные зоны, и концентрации ключевого компонента вычисляются как доли площадей, занимаемых этим компонентом на поверхностях пробных зон. Коэффициент неоднородности корректируется с учетом случайных колебаний числа частиц ключевого компонента на поверхности наблюдения.

К недостаткам способа по патенту [29] следует отнести невозможность оценки многокомпонентной смеси, так как предлагается анализировать только бинарное изображение. Бинаризация по цвету имеет и недостатки, связанные с некорректной кластеризацией смесей из-за присутствия различных артефактов на фотографиях, таких как тени, границы, значительное изменение оттенков смесей и т. д.

Зарубежные ученые в своих исследованиях отмечают положительный эффект от кормления животных правильно подготовленными кормами [30–33].

Используя экспериментальный горизонтальный лопастный смеситель, A.G. Rochaab, R.N. Montanhinic, P. Dilkinb, C.D. Tamiossob, C.A. Mallmannb оценили цикл сухого смешивания с использованием аминокислот, неорганических минералов, витамина B_2 и кормовых добавок, а также проверили его действие на цикле влажного смешивания аминокислот. Порошкообразные и жидкие источники метионина и лизина имели одинаковую эффективность смешивания в конце циклов смешивания. Исследование показало, что использование порошкообразных и (или) жидких промышленных аминокислот в качестве внутренних индикаторов подходит для оценки эффективности смешивания, а также времени, необходимого для получения однородных смесей в комбикормовых смесителях [34–40].

В.В. Воронин, К.А. Адигамов, Р.И. Черкасов, Р.А. Сизякин, Н.В. Гапон изложили в своих работах способ компьютерной оценки качества смеси, состоящей из нескольких компонентов сыпучих материалов с различным размером фракций. В качестве критерия оценки качества смеси принят коэффициент равномерности смешивания. Алгоритм для определения этого коэффициента основан на кластеризации К-средних. Его суть состоит в том, что на каждой итерации перевычисляется центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается при условии, если границы кластеров перестают изменяться. Коэффициент равномерности

смешивания вычисляется для каждого размера фракций. Проверка данного способа доказала возможность его использования для оценки качества смеси, состоящей из нескольких компонентов с различным размером фракций [33–43].

Комплексные исследования идеальных и модельных смесей сыпучих компонентов, различающихся по цвету, с использованием коэффициентов неоднородности и проведенные О.В. Дёминым, Д.О. Смолиным, В.Ф. Першиным, позволили выявить ряд существенных особенностей анализа цифровых изображений поверхности смеси и на их основе определить условия частичной и полной годности исследуемой порции смеси. Предложенный подход к оценке качества смеси сыпучих материалов не требует выявления необходимого и достаточного числа частей (ячеек) разделения изображения смеси и не зависит от ее задаваемой требуемой однородности, характеризующейся каким-либо известным критерием. Использование данного метода и подхода к оценке качества смеси позволяет обеспечить непрерывный контроль качества смесеприготовления в режиме реального времени, что открывает широкие возможности для модернизации существующего производства при минимальных капитальных вложениях [35–38].

Проанализировав имеющиеся отечественные и зарубежные методики определения гомогенности, была предложена оптическая система оценки гомогенности кормов, которая основана на использовании технического зрения и методов анализа RGB-изображений, позволяющего определить степень гомогенности кормовой массы на транспортной ленте или на поверхности смесителя раздатчика кормов [39–43].

Функциональная схема предлагаемого решения представлена на рисунке 1.

Математической основой функционирования аппаратно-программного комплекса прибора служит алгоритм, который осуществляет обработку характеристик изображения по формуле 1:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{S_{i,j} \in X_k} (S_{i,j} - \mu_k)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где: K — число компонентов анализируемой кормовой смеси; X_k — количество пикселей, на которые разделяется фиксируемое изображение, для k -го компонента кормовой смеси; μ_k — центр масс векторов $S_{i,j} \in X_k$.

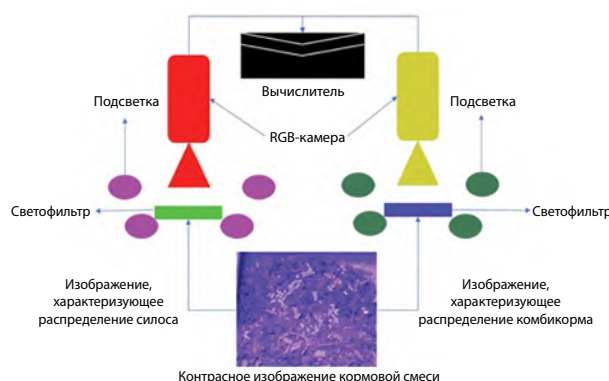
При этом качество смешивания определяется посредством кластеризации регистрируемых изображений, определяя концентрацию k -го компонента (формула 2):

$$R = \left(100\% - \sqrt{\left(\frac{1}{m \times n} \times \sum_{p=1}^P (Y_p - \bar{Y}_p)^2 \right)} \times 100\% \right), \quad (2)$$

где: $\frac{1}{m \times n}$ — область вычисления коэффициента качества смешивания; Y_p — количество пикселей в области вычисления; \bar{Y}_p — среднее значение пикселей, вычисленное по всем областям.

Рис. 1. Функциональная схема анализатора гомогенности кормовых смесей

Fig. 1. Functional diagram of the feed mixture homogeneity analyzer



При обработке регистрируемых изображений системой технического зрения комбикорм воспринимается более ярким участком, так как имеет большую отражающую способность, а объемистые корма отображаются как темные участки, ввиду того что они содержат большее количество хлорофилла.

Основными преимуществами оптической системы являются высокая скорость и точность оценки качества кормов, а также возможность автоматизации процесса. Это позволяет сократить время и затраты на проведение анализа, а также минимизировать человеческий фактор.

Кроме того, использование оптической системы позволяет повысить эффективность использования кормовых ресурсов, так как точная оценка гомогенности позволяет оптимизировать рационы животных и предотвращать возможные проблемы со здоровьем и пищеварением.

Выводы/Conclusion

Применительно к сельскому хозяйству, в частности к животноводству, наибольший интерес конечного потребителя выражен в пользу автоматических систем определения качества смешивания кормовых смесей, которые могут обеспечивать контроль без проведения процедур пробоотбора, на поверхности смесителя или транспортной ленты.

Наиболее перспективным методом определения качества смешивания кормовых смесей является оптический, что обосновывается существенным отличием параметров люминесценции концентрированного и объемистого корма.

Оптическая система оценки гомогенности кормов для сельскохозяйственных животных является инновационным решением, которое способствует повышению эффективности и качества животноводства. Мы уверены, что данная система будет полезной и востребованной в сельскохозяйственных предприятиях, а также способствует развитию отрасли в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косилов В.И., Иргашев Т.А., Ребезов М.Б., Клочкова М.А. Затраты кормов и возрастная динамика живой массы молодняка овец цыгайской породы и ее помесей с эдильбаевской породой. *Кишоварз*. 2020; (4): 56–60. <https://elibrary.ru/jfxgpc>
2. Иргашев Т.А., Байгенов Ф.Н., Каримова М.О., Олимов С.Х., Ребезов М.Б., Быкова О.А. Влияние бентонита и бентонитсодержащего премикса на расход кормов, рост и развитие телят. *Мичуринский агрономический вестник*. 2022; (1): 43–48. <https://elibrary.ru/okaczb>
3. Косилов В.И., Рахимжанова И.А., Салихов А.А., Ребезов М.Б., Миронова И.В., Перевоико Ж.А. Влияние уровня кормления и генотипа на возрастную динамику живой массы чистопородных и помесных телок. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022; (1): 208–212. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-208-212>
4. Конганбаев Е.К., Асенова Б.К., Смольникова Ф.Х., Ребезов М.Б. Исследование зерновых однокомпонентных кормов, применяемых в кормлении цыплят-бройлеров. *Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти В.М. Горбатова*. М.: Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова. 2015; 235–237. <https://elibrary.ru/vbdkrh>
5. Трепалина Е., Галкин А. Тест-системы для контроля ионофорных кокцидиостатиков в кормах. *Комбикорма*. 2015; (5): 83–85. <https://www.elibrary.ru/trlhkf>
6. Djuragic O., Levic J., Sredanovic S., Lević L. Evaluation of homogeneity in feed by method of microtracers®. *Archiva Zootechnica*. 2009; 12(4): 85–91.
7. Rocha A.G., Montanhini R.N., Dilkin P., Tamiosso C.D., Mallmann C.A. Comparison of different indicators for the evaluation of feed mixing efficiency. *Animal Feed Science and Technology*. 2015; 209: 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2015.09.005>
8. Latvietis J., Priekulis J., Eihvalde I. Problems of cow feeding in robotic milking and loose handling conditions. *Engineering for Rural Development. Proceedings of the 7th International Scientific Conference*. Jelgava. 2008; 270–274.
9. Gayathri S.L., Panda N. Chelated minerals and its effect on animal production: A review. *Agricultural Reviews*. 2018; 39(4): 314–320. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1823>
10. Єгоров Б.В., Макаринська А.В., Ворона Н.В. Особливості технології виробництва високооднорідних кормових добавок. *Зернові продукти і комбикорми*. 2014; (2): 37–40. <https://www.elibrary.ru/wjxqft>
11. Herrman T., Behnke K. Testing Mixer Performance. MF-1172. *Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service*. 1994; 4.
12. Robles V., González L.A., Ferret A., Manteca X., Calsamiglia S. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behavior in heifers fed high-concentrate diets. *Journal of Animal Science*. 2007; 85(10): 2538–2547. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-739>
13. Rego G. et al. A portable IoT NIR spectroscopic system to analyze the quality of dairy farm forage. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 175: 105578. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105578>
14. Samadi, Wajizah S., Munawar A.A. Rapid and Simultaneous Determination of Feed Nutritive Values by Means of Near Infrared Spectroscopy. *Tropical Animal Science Journal*. 2018; 41(2): 121–127. <https://doi.org/10.5398/tasj.2018.41.2.121>
15. Yang Z. et al. Development and validation of near-infrared spectroscopy for the prediction of forage quality parameters in *Lolium multiflorum*. *PeerJ*. 2017; 5: e3867. <https://doi.org/10.7717/peerj.3867>
16. Marchesini G., Serva L., Garbin E., Mirisola M., Andrighetto I. Near-infrared calibration transfer for undried whole maize plant between laboratory and on-site spectrometers. *Italian Journal of Animal Science*. 2018; 17(1): 66–72. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2017.1345660>
17. Ren G., Sun Y., Li M., Ning J., Zhang Z. Cognitive spectroscopy for evaluating Chinese black tea grades (*Camellia sinensis*): near-infrared spectroscopy and evolutionary algorithms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020; 100(10): 3950–3959. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10439>
18. Sánchez M.-T., Torres I., de la Haba M.-J., Chamorro A., Garrido-Varo A., Pérez-Marín D. Rapid, simultaneous, and *in situ* authentication and quality assessment of intact bell peppers using near-infrared spectroscopy technology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019; 99(4): 1613–1622. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9342>
19. Andueza D., Picard F., Martin-Rosset W., Aufrère J. Near-infrared spectroscopy calibrations performed on oven-dried green forages for the prediction of chemical composition and nutritive value of preserved forage for ruminants. *Applied Spectroscopy*. 2016; 70(8): 1321–1327. <https://doi.org/10.1177/0003702816654056>
20. Harper M.T. et al. Short communication: Preference for flavored concentrate premixes by dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(8): 6585–6589. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11001>
21. Królczyk J., Tukiendorf M. Using the methods of geostatic function and Monte Carlo in estimating the randomness of distribution of a two-component granular mixture during the flow mixing. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 2005; 8(4): 78.

REFERENCES

1. Kosilov V.I., Irgashev T.A., Rebezov M.B., Klochkova M.A. Cost of feed and age-related dynamics of a live weight of young sheep Tsigay breed and its insalivate with Edilbaev breed. *Kishovarz*. 2020; (4): 56–60 (in Russian). <https://elibrary.ru/jfxgpc>
2. Irgashev T.A., Baigenov F.N., Karimova M.O., Olimov S.H., Rebezov M.B., Bykova O.A. Influence of bentonite and bentonite-containing premix on feed consumption, growth and development of calves. *Michurinsk agronomy bulletin*. 2022; (1): 43–48 (in Russian). <https://elibrary.ru/okaczb>
3. Kosilov V.I., Rakhimzhanova I.A., Salihov A.A., Rebezov M.B., Mironova I.V., Perevoiko Zh.A. Influence of feeding level and genotype on age dynamics of live weight of purebred and crossbred heifers. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; (1): 208–212 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-208-212>
4. Konganbaev E.K., Asenova B.K., Smolnikova F.Kh., Rebezov M.B. Study on grain monocomponent feed used in feeding broiler chickens. *International scientific and practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveevich Gorbato*. Moscow: Gorbato's All-Russian Meat Research Institute. 2015; 235–237 (in Russian). <https://elibrary.ru/vbdkrh>
5. Trepalina E., Galkin A. Test systems for the control of ionophoric coccidiostats in feed. *Compound feeds*. 2015; (5): 83–85 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/trlhkf>
6. Djuragic O., Levic J., Sredanovic S., Lević L. Evaluation of homogeneity in feed by method of microtracers®. *Archiva Zootechnica*. 2009; 12(4): 85–91.
7. Rocha A.G., Montanhini R.N., Dilkin P., Tamiosso C.D., Mallmann C.A. Comparison of different indicators for the evaluation of feed mixing efficiency. *Animal Feed Science and Technology*. 2015; 209: 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2015.09.005>
8. Latvietis J., Priekulis J., Eihvalde I. Problems of cow feeding in robotic milking and loose handling conditions. *Engineering for Rural Development. Proceedings of the 7th International Scientific Conference*. Jelgava. 2008; 270–274.
9. Gayathri S.L., Panda N. Chelated minerals and its effect on animal production: A review. *Agricultural Reviews*. 2018; 39(4): 314–320. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1823>
10. Yegorov B.V., Makarinskaya A.V., Gontsa N.V. Features of production technology of highly homogenous feed additives. *Zernovi produkti i kombikorma*. 2014; (2): 37–40 (in Ukrainian). <https://www.elibrary.ru/wjxqft>
11. Herrman T., Behnke K. Testing Mixer Performance. MF-1172. *Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service*. 1994; 4.
12. Robles V., González L.A., Ferret A., Manteca X., Calsamiglia S. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behavior in heifers fed high-concentrate diets. *Journal of Animal Science*. 2007; 85(10): 2538–2547. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-739>
13. Rego G. et al. A portable IoT NIR spectroscopic system to analyze the quality of dairy farm forage. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 175: 105578. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105578>
14. Samadi, Wajizah S., Munawar A.A. Rapid and Simultaneous Determination of Feed Nutritive Values by Means of Near Infrared Spectroscopy. *Tropical Animal Science Journal*. 2018; 41(2): 121–127. <https://doi.org/10.5398/tasj.2018.41.2.121>
15. Yang Z. et al. Development and validation of near-infrared spectroscopy for the prediction of forage quality parameters in *Lolium multiflorum*. *PeerJ*. 2017; 5: e3867. <https://doi.org/10.7717/peerj.3867>
16. Marchesini G., Serva L., Garbin E., Mirisola M., Andrighetto I. Near-infrared calibration transfer for undried whole maize plant between laboratory and on-site spectrometers. *Italian Journal of Animal Science*. 2018; 17(1): 66–72. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2017.1345660>
17. Ren G., Sun Y., Li M., Ning J., Zhang Z. Cognitive spectroscopy for evaluating Chinese black tea grades (*Camellia sinensis*): near-infrared spectroscopy and evolutionary algorithms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020; 100(10): 3950–3959. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10439>
18. Sánchez M.-T., Torres I., de la Haba M.-J., Chamorro A., Garrido-Varo A., Pérez-Marín D. Rapid, simultaneous, and *in situ* authentication and quality assessment of intact bell peppers using near-infrared spectroscopy technology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019; 99(4): 1613–1622. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9342>
19. Andueza D., Picard F., Martin-Rosset W., Aufrère J. Near-infrared spectroscopy calibrations performed on oven-dried green forages for the prediction of chemical composition and nutritive value of preserved forage for ruminants. *Applied Spectroscopy*. 2016; 70(8): 1321–1327. <https://doi.org/10.1177/0003702816654056>
20. Harper M.T. et al. Short communication: Preference for flavored concentrate premixes by dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(8): 6585–6589. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11001>
21. Królczyk J., Tukiendorf M. Using the methods of geostatic function and Monte Carlo in estimating the randomness of distribution of a two-component granular mixture during the flow mixing. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 2005; 8(4): 78.

22. Eisenberg D. Mix with Confidence. *International Milling Flour & Feed*. 1994; 31–33.
23. Kumar S., Lahlali R., Liu X., Karunakaran C. Infrared spectroscopy combined with imaging: A new developing analytical tool in health and plant science. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2016; 51(6): 466–483. <https://doi.org/10.1080/05704928.2016.1157808>
24. Berzaghi P., Cherney J.H., Casler M.D. Prediction performance of portable near infrared reflectance instruments using preprocessed dried, ground forage samples. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021; 182: 106013. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106013>
25. Барашков Н.Н., Писаренко П.В., Крикунова В.Ю., Сахно Т.В., Крикунов О.А. Ферромагнитные микротрейсеры как индикаторы качества однородности комбикормов для животноводства и птицеводства. *Зерновi продукти i комбикорми*. 2016; (3): 34–40. <https://www.elibrary.ru/xchsvx>
26. Sakhno T., Krykunova V., Sakhno Y., Barashkov N., Eisenberg D. Preparation of ferromagnetic liquid containing mixed iron oxide/manganese oxide nanoparticles and its use for mixer studies in liquids feeds. *Physics of Liquid Matter: Modern Problems. 7th International Conference. Abstracts*. Kyiv. 2016; 147.
27. Barashkov N., Eisenberg D., Eisenberg S., Mohnke J. Ferromagnetic microtracers and their use in feed applications. *Feed Technology. XII International Symposium*. Novi Sad. 2008.
28. Krolczyk J. The effect of mixing time on the homogeneity of multi-component granular systems. *Transactions of FAMENA*. 2016; 40(1): 45–56.
29. Corrigan O.I., Wilkinson M.L., Ryan J., Harte K., Corrigan O.F. The Use of Microtracers® in a Medicated Premix to Determine the Presence of Tiamulin in Final Feed. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 1994; 20(8): 1503–1509. <https://doi.org/10.3109/03639049409038386>
30. Bagliacca M., Paci G., Marzoni M., Lisi E. Impiego di particelle di ferro colorate (Microtracers®) come traccianti dei mangimi e per il controllo della miscelazione. *Large Animals Review*. 2002; 8(2): 9–12.
31. Nikkhah A. Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2012; 3: 22. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-3-22>
32. Черкасов Р.И., Адигамов К.А., Воронин В.В., Гапон Н.В., Сизякин Р.А. Оценка качества смешивания сыпучих материалов с различным размером фракций. *Современные проблемы науки и образования*. 2015; (2–2): 169. <https://www.elibrary.ru/uzjahn>
33. Демин О.В., Смолин Д.О., Першин В.Ф. Оценка качества смеси сыпучих материалов на основе анализа их цифровых изображений. *Современные проблемы науки и образования*. 2013; (2): 157. <https://www.elibrary.ru/rxuokp>
34. Nikkhah A. Optimizing Barley Grain Use by Dairy Cows: A Betterment of Current Perceptions. *Progress in Food Science and Technology*. New York: Nova Science Publishers Inc. 2011; 1: 165–178.
35. Restle J., Faturi C., Pascoal L.L., Rosa J.R.P., Brondani I.L., Filho D.C.A. Processamento do grão de aveia para alimentação de vacas de descarte terminadas em confinamento. *Ciência Animal Brasileira*. 2009; 10(2): 497–503.
36. Nikitin E.A., Pavkin D.Yu., Izmailov A.Yu., Aksenov A.G. Assessing the Homogeneity of Forage Mixtures Using an RGB Camera as Exemplified by Cattle Rations. *Applied Sciences*. 2022; 12(7): 3230. <https://doi.org/10.3390/app12073230>
37. Pavkin D.Yu., Belyakov M.V., Nikitin E.A., Efremenkova I.Yu., Golyshkov I.A. Determination of the Dependences of the Nutritional Value of Corn Silage and Photoluminescent Properties. *Applied Sciences*. 2023; 13(18): 10444. <https://doi.org/10.3390/app131810444>
38. Nikitin E.A., Семенов В.С. Анализ проблем эффективного приготовления кормовой смеси в современном животноводстве. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019; (2): 158–163. <https://www.elibrary.ru/kjpyil>
39. Беляков М.В., Никитин Е.А., Ефременков И.Ю. Эффективность фотолуминесцентного метода контроля гомогенности кормовых смесей в животноводстве. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(3): 55–61. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-3-55-61>
40. Кирсанов В.В., Беляков М.В., Никитин Е.А., Благов Д.А., Михайличенко С.М. Спектральный анализ как инструмент определения качества смешивания многокомпонентной кормовой смеси. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2023; (3): 41–46. <https://www.elibrary.ru/rcobbx>
41. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Кирюшин И.А. Применение систем технического зрения для диагностики качества кормов КРС. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021; 22(5): 770–776. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.770-776>
42. Lednev V.N., Sdvizhensky P.A., Grishin M.Yu., Nikitin E.A., Gudkov S.V., Pershin S.M. Improving Calibration Strategy for LIBS Heavy Metals Analysis in Agriculture Applications. *Photonics*. 2021; 8(12): 563. <https://doi.org/10.3390/photonics8120563>
43. Горлов И.Ф. и др. Влияние новой пребиотической кормовой добавки на естественную резистентность и продуктивность свиной крупной белой породы. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2023; (3): 36–41. <https://www.elibrary.ru/cbmnmhi>
22. Eisenberg D. Mix with Confidence. *International Milling Flour & Feed*. 1994; 31–33.
23. Kumar S., Lahlali R., Liu X., Karunakaran C. Infrared spectroscopy combined with imaging: A new developing analytical tool in health and plant science. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2016; 51(6): 466–483. <https://doi.org/10.1080/05704928.2016.1157808>
24. Berzaghi P., Cherney J.H., Casler M.D. Prediction performance of portable near infrared reflectance instruments using preprocessed dried, ground forage samples. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021; 182: 106013. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106013>
25. Barashkov N.N., Pysarenko P.V., Krikunova V.Yu., Sakhno T.V., Krikunov O.A. Ferromagnetic microtracers and their use for evaluation of the homogeneity of feed for agricultural animals and poultry. *Zernovi produkti i kombikorma*. 2016; (3): 34–40 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xchsvx>
26. Sakhno T., Krykunova V., Sakhno Y., Barashkov N., Eisenberg D. Preparation of ferromagnetic liquid containing mixed iron oxide/manganese oxide nanoparticles and its use for mixer studies in liquids feeds. *Physics of Liquid Matter: Modern Problems. 7th International Conference. Abstracts*. Kyiv. 2016; 147.
27. Barashkov N., Eisenberg D., Eisenberg S., Mohnke J. Ferromagnetic microtracers and their use in feed applications. *Feed Technology. XII International Symposium*. Novi Sad. 2008.
28. Krolczyk J. The effect of mixing time on the homogeneity of multi-component granular systems. *Transactions of FAMENA*. 2016; 40(1): 45–56.
29. Corrigan O.I., Wilkinson M.L., Ryan J., Harte K., Corrigan O.F. The Use of Microtracers® in a Medicated Premix to Determine the Presence of Tiamulin in Final Feed. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 1994; 20(8): 1503–1509. <https://doi.org/10.3109/03639049409038386>
30. Bagliacca M., Paci G., Marzoni M., Lisi E. Impiego di particelle di ferro colorate (Microtracers®) come traccianti dei mangimi e per il controllo della miscelazione. *Large Animals Review*. 2002; 8(2): 9–12.
31. Nikkhah A. Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2012; 3: 22. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-3-22>
32. Cherkasov R.I., Adigamov K.A., Voronin V.V., Gapon N.V., Sizyakin R.A. Quality assessment of loose mix materials with different grain size. *Modern problems of science and education*. 2015; (2–2): 169 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/uzjahn>
33. Demin O.V., Smolin D.O., Pershin V.F. Qualification mixes bulk materials based on their digital images. *Modern problems of science and education*. 2013; (2): 157 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rxuokp>
34. Nikkhah A. Optimizing Barley Grain Use by Dairy Cows: A Betterment of Current Perceptions. *Progress in Food Science and Technology*. New York: Nova Science Publishers Inc. 2011; 1: 165–178.
35. Restle J., Faturi C., Pascoal L.L., Rosa J.R.P., Brondani I.L., Filho D.C.A. Processing oats grain for cull cows finished in feedlot. *Ciência Animal Brasileira*. 2009; 10(2): 497–503 (in Portuguese).
36. Nikitin E.A., Pavkin D.Yu., Izmailov A.Yu., Aksenov A.G. Assessing the Homogeneity of Forage Mixtures Using an RGB Camera as Exemplified by Cattle Rations. *Applied Sciences*. 2022; 12(7): 3230. <https://doi.org/10.3390/app12073230>
37. Pavkin D.Yu., Belyakov M.V., Nikitin E.A., Efremenkova I.Yu., Golyshkov I.A. Determination of the Dependences of the Nutritional Value of Corn Silage and Photoluminescent Properties. *Applied Sciences*. 2023; 13(18): 10444. <https://doi.org/10.3390/app131810444>
38. Nikitin E.A., Semenyuk V.S. Analysis of feed mixture effective preparation's problems in the modern farming. *Journal of VNIIMZH*. 2019; (2): 158–163 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kjpyil>
39. Belyakov M.V., Nikitin E.A., Efremenkova I.Yu. Efficiency of the Photoluminescent Method for Monitoring the Homogeneity of Feed Mixtures in Animal Husbandry. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(3): 55–61 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-3-55-61>
40. Kirsanov V.V., Belyakov M.V., Nikitin E.A., Blagov D.A., Mikhailichenko S.M. Spectral analysis as a tool for determining the mixing quality of a multicomponent feed mixture. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2023; (3): 41–46 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rcobbx>
41. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Kiryushin I.A. Application of technical vision systems for diagnosing the quality of cattle feed. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22(5): 770–776 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.770-776>
42. Lednev V.N., Sdvizhensky P.A., Grishin M.Yu., Nikitin E.A., Gudkov S.V., Pershin S.M. Improving Calibration Strategy for LIBS Heavy Metals Analysis in Agriculture Applications. *Photonics*. 2021; 8(12): 563. <https://doi.org/10.3390/photonics8120563>
43. Gorlov I.F. et al. The effect of new prebiotic feed additive on large white breed pigs natural resistance and productivity. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2023; (3): 36–41 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/cbmnmhi>

ОБ АВТОРАХ

Ирина Валерьевна Миронова^{1,2}
доктор биологических наук, профессор
mironova_irina-v@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5948-9563>

Эмилия Хамзиевна Латыпова¹
аспирант
Emiliya.latypova@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0007-6794-4152>

Евгений Александрович Никитин³
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0003-0918-2990>

Дмитрий Андреевич Благов³
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0001-7826-5197>

¹ Башкирский государственный аграрный университет,
ул. 50-летия Октября, 34, Уфа, 450001, Россия

² Уфимский государственный нефтяной технический университет,
ул. Космонавтов, 1, Уфа, 450064, Россия

³ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, стр. 1, Москва, 109428, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Irina Valeryevna Mironova^{1,2}
Doctor of Biological Sciences, Professor
mironova_irina-v@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5948-9563>

Emilia Khamzievna Latypova¹
Graduate Student
Emiliya.latypova@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0007-6794-4152>

Evgeny Alexandrovich Nikitin³
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
<https://orcid.org/0000-0003-0918-2990>

Dmitry Andreevich Blagov³
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
<https://orcid.org/0000-0001-7826-5197>

¹ Bashkir State Agrarian University,
34 50th Anniversary of October Str., Ufa, 450001, Russia

² Ufa State Petroleum Technological University
1 Kosmonavtov Str., Ufa, 450064, Russia

³ Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institute passage, Moscow, 109428, Russia



Достойное вознаграждение за привлеченную рекламу от ИД «Аграрная наука»

Вы



- общительны и активны
- владеете связями в сфере АПК
- есть время и желание
- хотите заработать

Мы гарантируем



интересную работу по привлечению
рекламы в проекты ИД



свободный, удобный график



официальное оформление



щедрый % за принесенную вами
рекламу

Звоните +7 (916) 616-05-31