



Использование микроконтроллеров для определения гомогенности кормосмеси

Ширина Ю.М., Кузов А.А., ✉ Теплякова А.В.

Федеральный исследовательский центр «Южный научный центр Российской академии наук»

Ростов-на-Дону, Россия

✉ e-mail: firsik1991@mail.ru

Представлены результаты по определению однородности смеси, полученные физическим методом с использованием микротрейсеров (окрашенных частиц железа). Микротрейсеры – внешние индикаторы, которые используют для определения точности смешивания и уровня контаминации в премиксах и комбикормах. Они представляют собой частицы железа одинакового размера, покрытые нетоксичной пищевой краской. Микротрейсеры стабильны к условиям производства (влажность, температура, давление) и не оказывают отрицательного влияния на органолептические свойства и питательность корма. Цель данной работы – проведение оценки уровня гомогенности кормосмесей для объектов аквакультуры с использованием ферромагнитных микротрейсеров. Экспериментальные исследования проведены на технологической линии смешивания промышленного комбикормового завода в Астраханской области. Применяемые гранулированные системы представляли собой кормовые смеси с различным массовым соотношением отдельных компонентов, различающихся по диаметру и насыпной плотности. Проведены серии тестов для разработки параметров высокого качества смешивания и оценки технических характеристик смесителя на технологической линии производства комбикормов на точность смешивания 1 : 100 000. Микротрейсеры F – красный (количество частиц на 1 г составляло 34 000) добавляли через установку ручного ввода микрокомпонентов непосредственно в бункер над смесителем при производстве форелевого корма 41/26 (ВЭ) 6 мм. Размер партии составлял 800 кг. При помощи микротрейсеров определяли однородность в кормосмеси и готовом корме. Установлено, что в тесте 1 критерий однородности по Гауссу составляет не менее 92% и не более 95% (время смешивания 60 с), в тесте 2 и 3 – выше 95% (время смешивания 90 и 120 с). Тестирование доказало, что значения гомогенности кормосмеси и экструдированного комбикорма находятся в одном интервале. Место отбора не оказывает никакого воздействия на гомогенность.

Ключевые слова: гомогенность, микротрейсеры, кормосмесь, экструдированный комбикорм, микродобавки, время смешивания

The use of microcontrollers to determine feed mixture homogeneity

Shirina Yu.M., Kuzov A.A., ✉ Teplyakova A.V.

Federal Research Center “Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”

Rostov-on-Don, Russia

✉ e-mail: firsik1991@mail.ru

The results on the determination of the homogeneity of the mixture obtained by a physical method using microtracers (colored iron particles) are presented. Microtracers are external indicators that are used to determine the mixing accuracy and contamination level in premixes and compound feeds. They are iron particles of the same size, coated with non-toxic, food-grade paint. Microtracers are stable to production conditions (humidity, temperature, pressure) and do not adversely affect the organoleptic properties and nutritional value of the feed. The purpose of the work was to assess the

level of homogeneity of feed mixtures for aquaculture facilities using ferromagnetic microtracers. Experimental studies were carried out on the technological mixing line of an industrial feed mill in the Astrakhan region. The granulated systems used were feed mixtures with different mass ratios of individual components differing in diameter and bulk density. A series of tests to develop high-quality mixing parameters and evaluate the technical characteristics of the mixer on the feed production line for mixing accuracy of 1:100000 were conducted. Microtracers F – red (the number of particles per 1 gram was 34,000) were added through the installation of manual input of micro components directly into the hopper above the mixer during the production of trout feed 41/26 (VE) 6 mm. The batch size was 800 kg. Using microtracers, the uniformity in the feed mixture and the finished feed was determined. It was found that in test 1 the Gauss uniformity criterion is at least 92% and no more than 95% (mixing time 60 seconds), in test 2 and 3 above 95% (mixing time 90 and 120 seconds). The testing has proved that the homogeneity values of the feed mixture and the extruded compound feed are in the same range. The selection site has no effect on homogeneity.

Keywords: homogeneity, microtracers, feed mixture, extruded compound feed, micro additives, mixing time

Для цитирования: Ширина Ю.М., Кузов А.А., Теплякова А.В. Использование микроконтроллеров для определения гомогенности кормосмеси // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 3. С. 52–62. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-3-6>

For citation: Shirina Yu.M., Kuzov A.A., Teplyakova A.V. The use of microcontrollers to determine feed mixture homogeneity. *Sibirskii vestnik sel'skhoz'yastvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2025, vol. 55, no. 3, pp. 52–62. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-3-6>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН на 2025 г., номер государственной регистрации 125011200145-8.

Acknowledgements

The publication was prepared within the framework of implementation of the ST SRC RAS for 2025, state registration number 125011200145-8.

ВВЕДЕНИЕ

Смешивание – одна из самых важных операций в процессе производства кормов [1]. Ее цель – получить полностью однородную смесь, чтобы содержание питательных веществ в каждой взятой пробе было одинаковым¹ [2, 3]. Однородность по размеру ингредиентов, входящих в состав готового корма, может напрямую влиять на их конечную дисперсность: когда все физические свойства их относительно одинаковы, то смешивание становится довольно простым [4].

Если физические характеристики ингредиентов сильно различаются, возникают проблемы с их смешиванием и разделением. Измерение однородности предполагает

оценку физических, химических и визуальных свойств смеси. Это имеет решающее значение для поддержания консистенции продукта [5–9]. Используемые контрольные ингредиенты-индикаторы (соль, окрашенное пшено, зерно ячменя, гороха и др.) не могут гарантировать достоверного результата, поскольку в процессе смешивания происходит их частичное разрушение. В случае с витаминами, минеральными добавками и лечебными препаратами, норма внесения которых мала, данные индикаторы вообще неприемлемы [3, 10].

Для однородного смешивания необходимы микроаналоги названных ингредиентов-индикаторов. Заводы, где применяют

¹Ozherelyeva O., Sytolkin A., Vasilenko L., Danyliv M., Vasilenko O. Compound feed technology in sturgeon fish aquiculture // Biological Resources Development and Environmental Management: International applied research conference KnE Life Sciences. 2020. P. 194–202. DOI: 10.18502/kl.v5i1.6047.

прогрессивные технологии производства комбикормов, для оценки однородности смешивания в качестве индикаторов используют ферромагнитные микротрейсеры (МТ) [11, 12]. Микротрейсеры – внешние индикаторы, которые используют для определения точности смешивания и уровня контаминации в премиксах и комбикормах. Они представляют собой частицы железа одинакового размера, покрытые нетоксичной пищевой краской. Микротрейсеры стабильны к условиям производства (влажность, температура, давление) и не оказывают отрицательного влияния на органолептические свойства и питательность корма.

Цель работы – проведение оценки уровня гомогенности кормосмесей для объектов аквакультуры с использованием ферромагнитных микротрейсеров.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования проведены на технологической линии смешивания промышленного комбикормового завода в Астраханской области. Применяемые гранулированные системы представляли собой кормовые смеси с различным массовым соотношением отдельных компонентов, различающихся по диаметру и насыпной плотности. Задачей исследования стало проведение серии тестов для разработки параметров высокого качества смешивания и оценки технических характеристик смесителя на технологической линии производства комбикормов на точность смешивания 1 : 100 000. Микротрейсеры F (красный, количество частиц на 1 г составляло 34 000) добавляли через установку ручного ввода микрокомпонентов непосредственно в бункер над смесителем при производстве форелевого корма 41/26 (ВЭ) 6 мм. Размер партии составлял 800 кг (партии 1–3) (см. рис. 1). При помощи микротрейсеров определяли однородность в кормосмеси и готовом корме.

Для процедуры анализа микротрейсеров отбирали точечные пробы. Результаты

рассчитывали при помощи статистического распределения Пуассона (распределение дискретного типа случайной величины; описывает вероятность определенного числа событий, происходящих за определенный интервал времени)². Отбор проб осуществлен из кормосмесителя и из нории и для всех партий произведен одинаково.

Кормосмесь из смесителя: 20 проб массой примерно 100 г отобраны в нескольких контрольных точках. Отбор осуществляли из верхнего слоя при помощи лопатки, на глубине 70–80 см – щупом.

Экструдированный комбикорм: 20 проб массой примерно 100 г отобраны из нории. Первая проба – сразу после начала из потока, последующие – каждые 5 с, последняя – через 95 с, когда поток экструдированного комбикорма практически закончился. Отбор осуществляли при помощи лопатки.

Микротрейсеры выделяли из точечной пробы продукта при помощи вращающегося магнита. Маленький фильтр фиксировали на ротационном детекторе специальным стопорным кольцом. Подготовленную пробу взвешивали и посредством воронки загружали в работающий ротационный детектор. Магнитные частицы оставались на фильтровальной бумаге, немагнитные попадали в специальный отсек детектора. Тщательно очищали воронку с помощью кисти от частиц корма. Осторожно снимали фильтр с магнитными частицами с детектора и размагничивали их, затем аккуратно переносили остаток с малого фильтра на большой. Большой фильтр предварительно обрабатывали проявляющим раствором. Оставляли на несколько секунд (≈ 10) для проявления микротрейсеров, затем фильтр помещали на плитку для просушивания. Готовые фильтры тщательно очищали от посторонних частиц и производили подсчет цветных пятен с помощью системы Traco-System на компьютере.

Для интерпретации рассчитывали следующие статистические данные (см. рис. 1):

²Щеголева С.А., Титов П.Л., Пащенко М.С. Статистические методы контроля и управления качеством: законы распределения в физических и технических системах: учеб. пособие для вузов. Владивосток, 2024. 56 с.

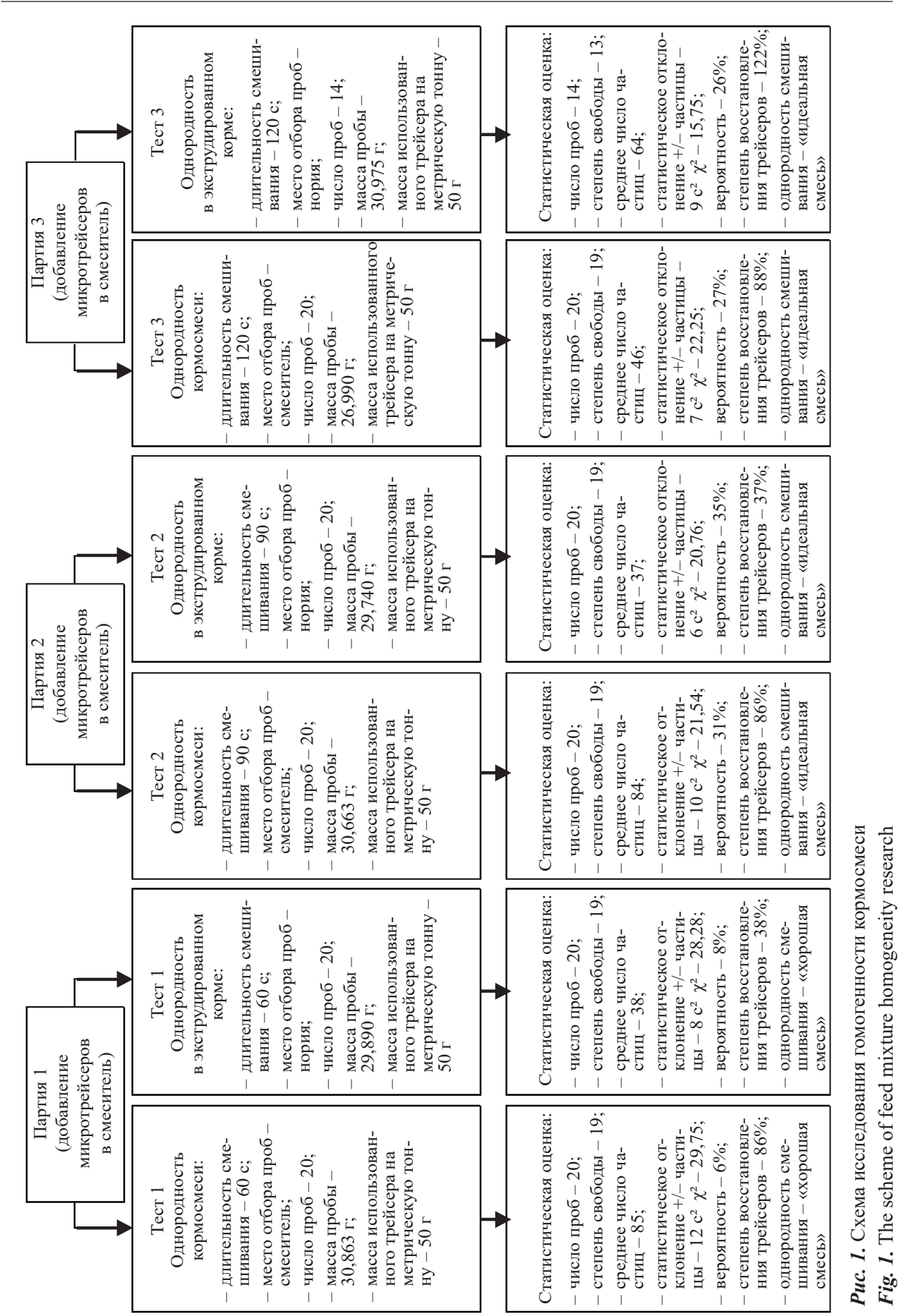


Рис. 1. Схема исследования гомогенности кормосмеси
Fig. 1. The scheme of feed mixture homogeneity research

среднее количество частиц; стандартное отклонение в количестве частиц; коэффициент вариации (%); χ^2 – значение; вероятность, p (%); степень восстановления микротрейсеров (%).

При помощи рассчитанных значений определяли вероятность значения χ^2 . В одной строке находили количество независимых элементов (верхняя горизонтальная строка), в другой – найденное значение χ^2 (вертикальная колонка слева). На пересечении горизонтальной строки и вертикального столбца считывали значение вероятности в диапазоне от максимума 0,999 (99,9%) до минимума 0,0005 (менее 0,05%). Это вероятность того, что найденное в тесте значение χ^2 будет случайным образом превышено образцами из «идеальной» смеси Пуассона.

Многочисленные исследования, проведенные в США, Сербии, Польше, Ирландии, Италии, России [13] и в других странах, показывают высокую эффективность и быстроту использования ферромагнитных трейсеров для оценки однородности кормов (см. табл. 1).

Результаты из распределения Пуассона и p однородности смешивания выражены в виде вероятности для сравнения и в виде коэффициента вариации C_v из распределения Гаусса (см. сноску 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для партии 1 микротрейсеры были добавлены через установку ручного ввода микродобавок в бункер над смесителем. Из самотека после смесителя отобраны 20 проб. В тестовых условиях смешивания смесь достигла точности смешивания 1 : 100 000 в смесителе при времени смешивания 60 с (см. рис. 2). Рассчитанная вероятность для микротрейсеров составляла 12%, что соответствует «хорошей» смеси.

Партия 1 – гомогенность экструдированного комбикорма. Для партии 1 микротрейсеры были добавлены через установку ручного ввода в бункер над смесителем. Из нории отобраны 20 проб комбикорма. В тестовых условиях смесь достигла точности смешивания 1 : 100 000 при времени 60 с (см. рис. 3).

Табл. 1. Определение однородности смешивания, %

Table 1. Determination of mixing uniformity, %

Смесь	Вероятность, p	Коэффициент вариации, C_v
Идеальная	> 25	< 5
Хорошая	> 5 – < 25	> 5 – < 8
Приемлемая	> 1 – < 5	> 8 – < 12
Неоднородная	< 1	> 12

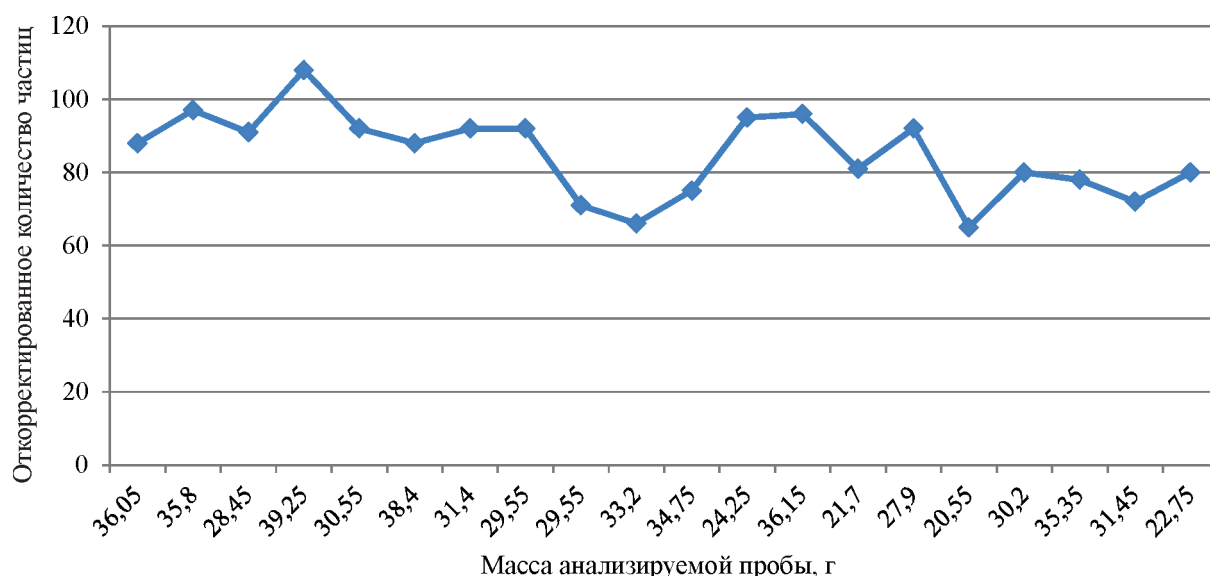


Рис. 2. Гомогенность кормосмеси в смесителе (время перемешивания 60 с)

Fig. 2. Homogeneity of the feed mixture in the mixer (mixing time 60 sec.)

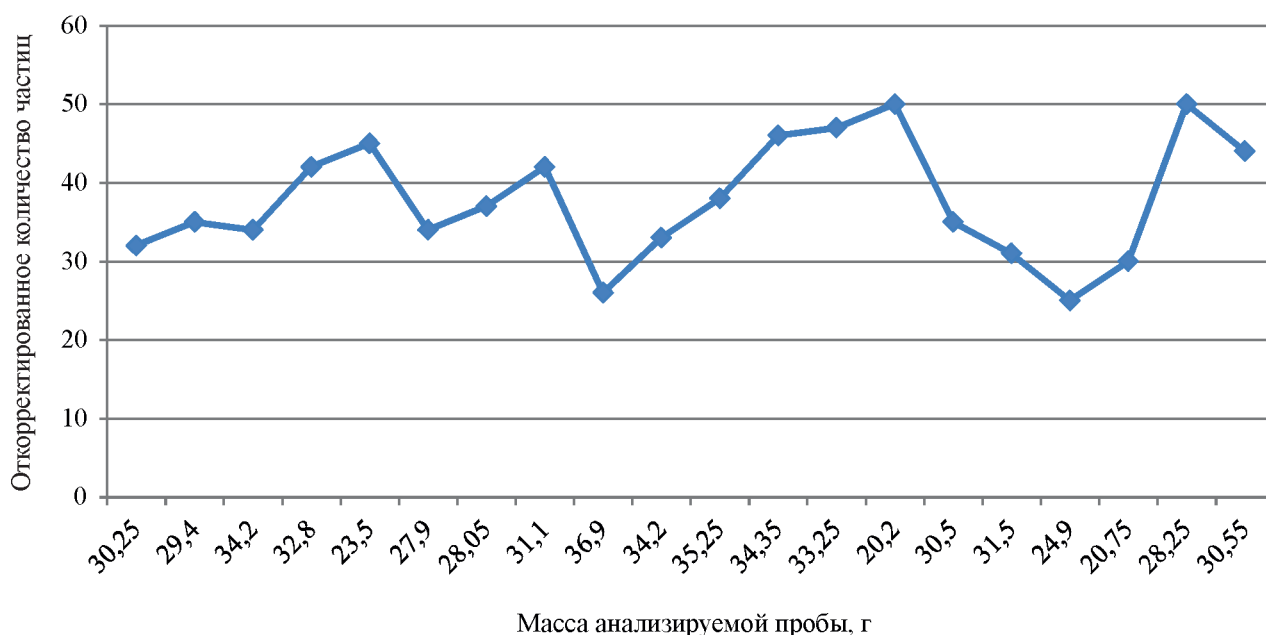


Рис. 3. Гомогенность готового комбикорма (время перемешивания 60 с)

Fig. 3. Homogeneity of the finished compound feed (mixing time 60 sec.)

Рассчитанная вероятность для микротрейсеров составляла 8%, что соответствует «хорошей» смеси.

Для партии 2 микротрейсеры были добавлены через установку ручного ввода микродобавок в бункер над смесителем. Из самотека после смесителя отобраны 20 проб.

В тестовых условиях смесь достигла точности смешивания 1 : 100 000 в смесителе при времени 90 с. Рассчитанная вероятность для микротрейсеров составила 31% (см. рис. 4), что соответствует «идеальной» смеси.

Партия 2 – гомогенность экструдированного комбикорма. Для партии 2 микротрейсе-

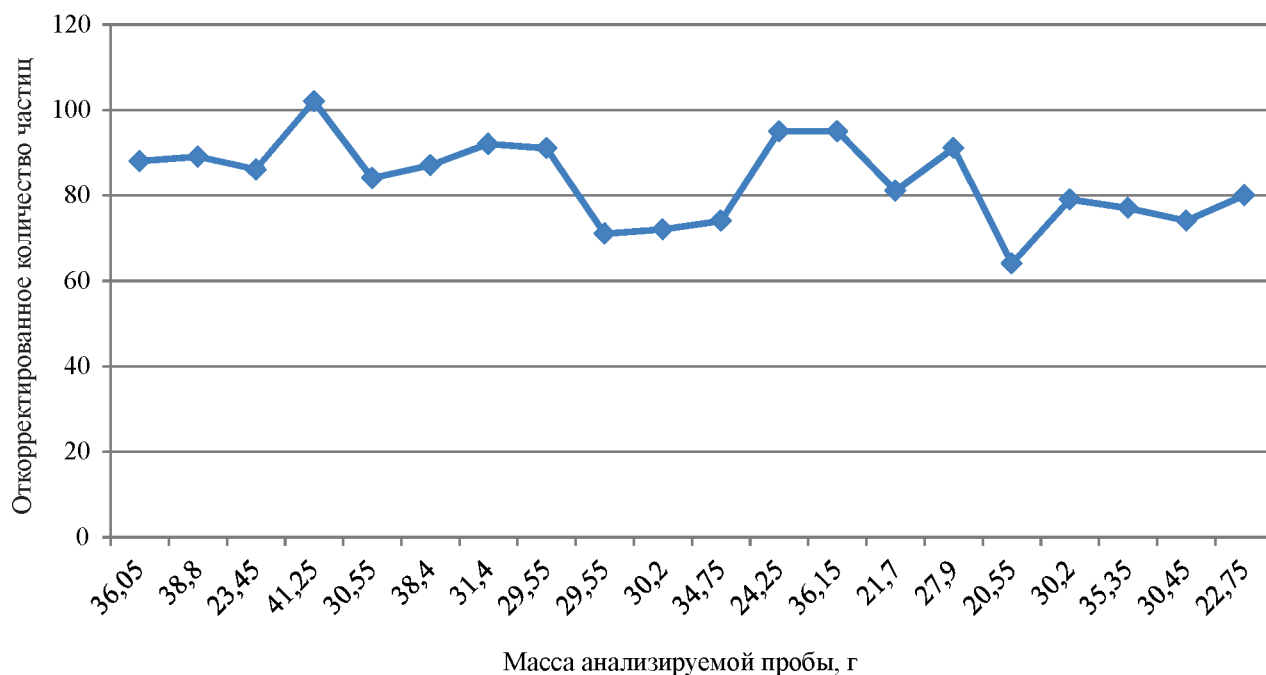


Рис. 4. Гомогенность кормосмеси в смесителе (время перемешивания 90 с)

Fig. 4. Homogeneity of the feed mixture in the mixer (mixing time 90 sec.)

ры были добавлены через установку ручного ввода в бункер над смесителем. Из нории отобраны 20 проб комбикорма. В тестовых условиях смесь достигала точности смешивания 1 : 100 000 в смеси при времени 90 с (см. рис. 5). Рассчитанная вероятность для микротрейсеров составила 35%, что соответствует «идеальной» смеси.

Для партии 3 микротрейсеры были добавлены через установку ручного ввода микродобавок в бункер над смесителем. Из самотека после смесителя отобраны 20 проб. Все пробы проанализированы на однородность. В тестовых условиях смесь достигла точности смешивания 1 : 100 000 в смесителе при времени 120 с (см. рис. 6). Рассчитанная вероятность для микротрейсеров составила 27%, что соответствует «идеальной» смеси.

Партия 3 – гомогенность экструдированного комбикорма. Для партии 2 микротрейсеры были добавлены через установку ручного ввода в бункер над смесителем. Из нории отобраны 14 проб комбикорма. Все пробы проанализированы на однородность. В тестовых условиях смесь достигла точности

смешивания 1 : 100 000 в смеси при времени 120 с (см. рис. 7). Рассчитанная вероятность для микротрейсеров составила 35%, что соответствует «идеальной» смеси.

В табл. 2 обобщены результаты тестов на точность смешивания при производстве экструдированного комбикорма.

Требования к точности смешивания и рабочей точности производственной линии (1 : 100 000) для кормов выполнены в соответствии с Регламентом ЕС № 183/2005 (требования к гигиене кормов):

– в партии 1 в смесителе вероятность кормосмеси составила $6 > 5\%$, что соответствует «хорошей» смеси. Время смешивания 60 с;

– в партии 1 в экструдированном комбикорме вероятность составила $8 > 5\%$, что соответствует «хорошей» смеси. Время смешивания 60 с;

– в партии 2 в смесителе вероятность кормосмеси составила $31 > 25\%$, что соответствует «идеальной» смеси. Время смешивания 90 с;

– в партии 2 в экструдированном комбикорме вероятность составила $35 > 25\%$, что соответствует «идеальной» смеси. Время смешивания 90 с;

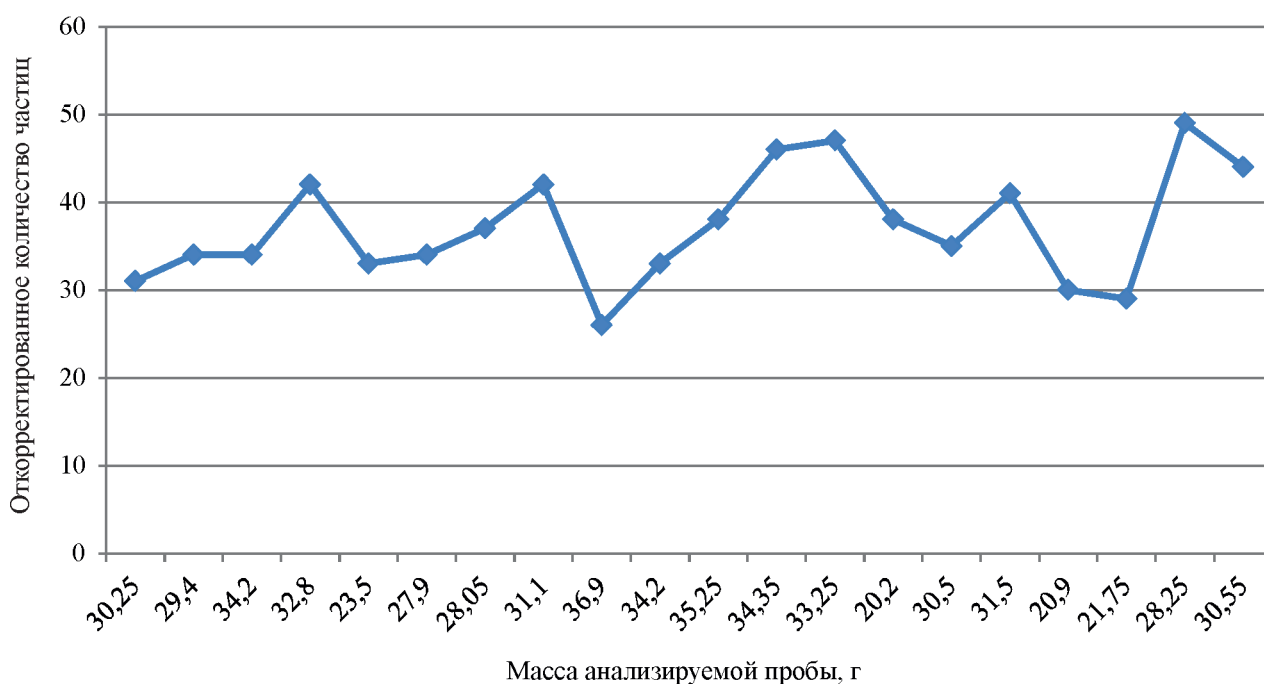


Рис. 5. Гомогенность готового комбикорма (время перемешивания 90 с)

Fig. 5. Homogeneity of the finished compound feed (mixing time 90 sec.)

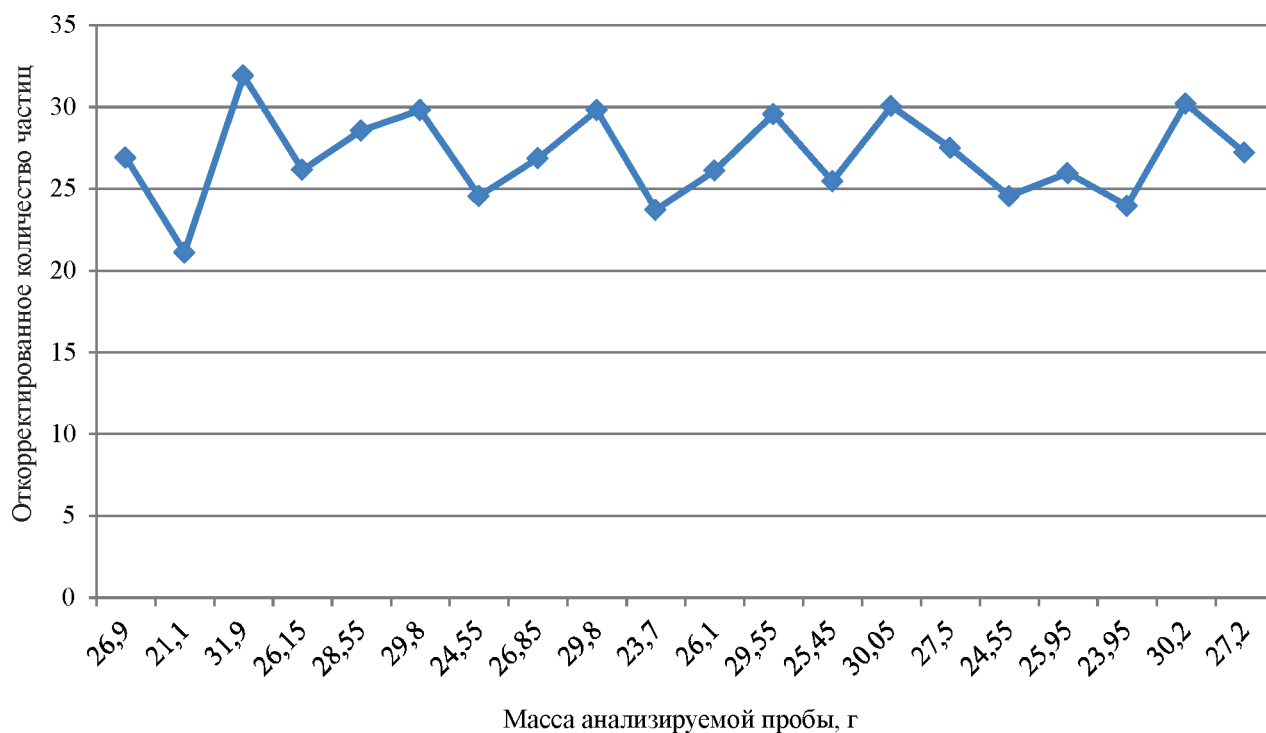


Рис. 6. Гомогенность кормосмеси в смесителе (время перемешивания 120 с)

Fig. 6. Homogeneity of the feed mixture in the mixer (mixing time 120 sec.)

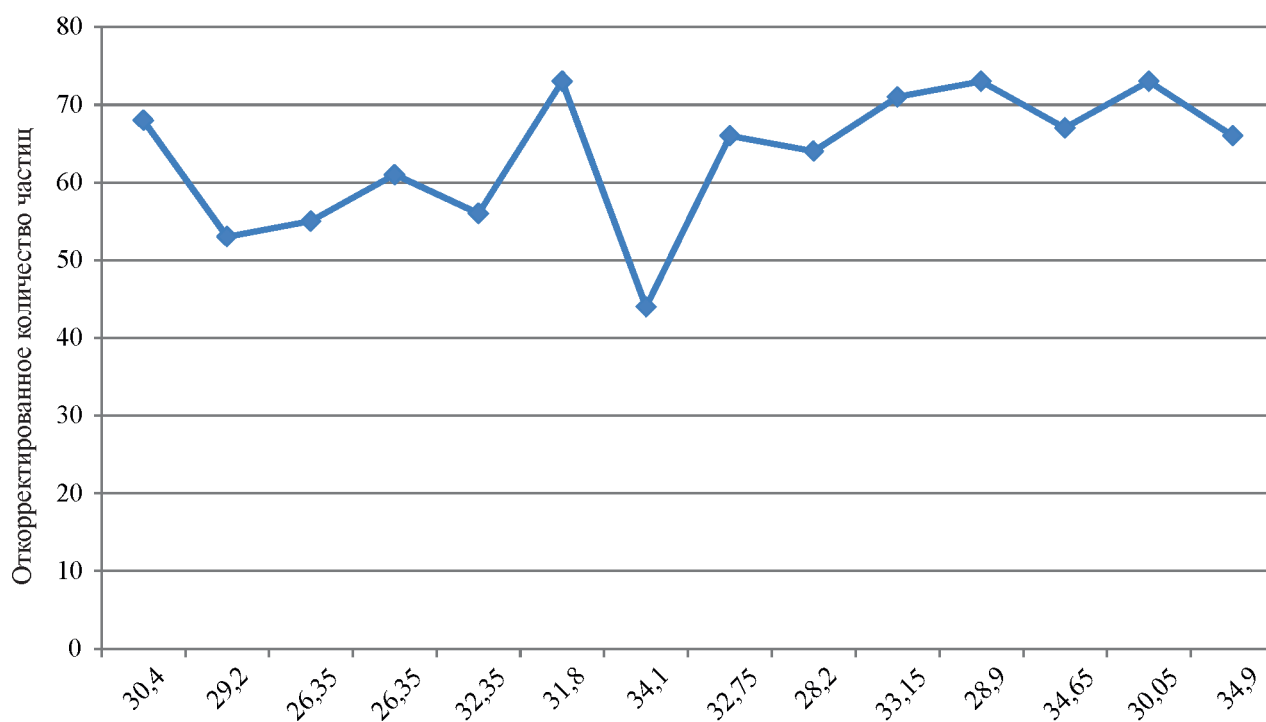


Рис. 7. Гомогенность готового комбикорма (время перемешивания 120 с)

Fig. 7. Homogeneity of the finished compound feed (mixing time 120 sec.)

Табл. 2. Результат тестов на точность смешивания компонентов**Table 2.** Test result for accuracy of mixing the components

Партия	Размер партии/ кормосмеси	Кормосмесь	Экструдированный комбикорм
Партия 1, тест 1; вероятность, %	800 кг ФК 41/26 (ВЭ)	6% (хорошая смесь)	8% (хорошая смесь)
Партия 1, тест 1; степень восстановления, %		86%	38%
Партия 2, тест 2; вероятность, %	800 кг ФК 41/26 (ВЭ)	31% (идеальная смесь)	35% (идеальная смесь)
Партия 2, тест 2; степень восстановления, %		86%	37%
Партия 3, тест 3; вероятность, %	800 кг ФК 41/26 (ВЭ)	27 % (идеальная смесь)	26% (идеальная смесь)
Партия 3, тест 3; степень восстановления, %		88%	122%

– в партии 3 в смесителе вероятность кормосмеси составила $27 > 25\%$, что соответствует «идеальной» смеси. Время смешивания 120 с;

– в партии 2 в экструдированном комбикорме вероятность составила $26 > 25\%$, что соответствует «идеальной» смеси. Время смешивания 120 с.

Показатель «степень восстановления микротрейсеров, %» – это отношение значения среднего количества частиц к эталонному среднему количеству частиц (указанному в сертификате на премикс с микротрейсерами с учетом содержания микротрейсеров в предсмеси, выраженное в %). Считается, что отклонение данного показателя от 100% допустимо на $\pm 25\%$. Значения, находящиеся внутри интервала 75–125%, считаются нормальными, если показатели выходят за данный интервал. Необходимо более глубоко изучать работу технологического оборудования на отрезке проведения тестирования для выявления причин возникшего отклонения. Микротрейсеры описывают поведение мелких частиц (витаминов, ферментов, аминокислот) внутри транспортного оборудования. В нашем случае в тестах 1 и 2 значения этого показателя очень близкие и по кормосмеси находятся в допустимых пределах. В экструдированном комбикорме значения данного показателя ниже допустимого, что предпо-

жительно вызвано высоким процентом ввода жира, что привело к «разбавлению» кормосмеси с микротрейсерами. Тест 3 по значениям показателя восстановления микротрейсеров находится в пределах допустимого, но показал неожиданно высокий результат в экструдированном корме. Предположительно это объясняется тем, что произошло смешение партий (размер последней партии был меньше 800 кг), что привело к неправильному расчету данного показателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выводы по гомогенности смешивания, основанные на определении конкретного маркера в исследуемых пробах (поваренной соли, фосфора, кальция и др.), после статистической обработки данных сделаны на основе значения коэффициента вариации (C_v). В тесте 1 критерий однородности по Гауссу составляет не менее 92% и не более 95% (время смешивания 60 с), в тесте 2 и 3 выше 95% (время смешивания 90 и 120 с). Тестирование доказало, что значения гомогенности кормосмеси и экструдированного комбикорма находятся в одном интервале. Место отбора не оказывает никакого воздействия на гомогенность. Таким образом, технологическое оборудование комбикормового завода не подвергает расслоению кормосмесь и готовый комбикорм в процессе транспортировки на тестируемом участке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Achkevych O., Bratishko V., Petrenko D., Slipukha T. Justification parameters mixer drum feed additives // *Engineering for rural development*. 2022. P. 793–798. DOI: 10.22616/ER-Dev.2022.21.TF240.
2. Lebedev A., Salaev B., Bolaev B., Arylov J., Lebedev P., Rybalkin N. Intensification of the process of mixing feed mixtures // *Science in the central Russia*. 2022. N 5. P. 50–59. DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-50-59.
3. Okonkwo C., Moses O., Alhassan E.A., Ogbevire M., Samuel A., Ajao F., Tajudeen O. Design and fabrication of a fish feed mixing cum pelleting machine for small-medium scale aquaculture industry // *Open Agriculture*. 2023. N 8. DOI: 10.1515/opag-2022-0124.
4. Авакимянц Е.В. Определение технологического объема смесителя белково-минерально-витаминных добавок // *Техника и технологии в животноводстве*. 2021. № 3 (43). С. 62–65. DOI: 10.51794/27132064-2021-3-62.
5. Poel A., Abdollahi M.R., Cheng H., Colovic R., den Hartog L.A., Miladinovic D., Page G., Sijsens K., Smillie J.F., Thomas M., Wang W., Yu P., Hendriks W.H. Future directions of animal feed technology research to meet the challenges of a changing world // *Animal Feed Science and Technology*. 2020. Vol. 270. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114692.
6. Sarker P.K. Microorganisms in Fish Feeds, Technological Innovations, and Key Strategies for Sustainable Aquaculture // *Microorganisms*. 2023. N 11. P. 439. DOI: 10.3390/microorganisms11020439.
7. Afreen M., Ucak I. Fish processing wastes used as feed ingredient for animal feed and aquaculture feed // *Journal of Survey in Fisheries Sciences*. 2020. P. 55–64. DOI:10.17762/sfs.v6i2.198.
8. Pooja Bhalode, Marianthi Ierapetrinou. A review of existing mixing indices in solid-based continuous blending operations // *Powder Technology*. 2020. Vol. 373. P. 195–209. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.06.043.
9. Rubio A.A., Conrad S., Juzaitis-Boelter C., Wishon C.R., Fahrenholz A.C. The impact of marker selection, in-line near-infrared spectroscopy (NIR), and feed mix time on the coefficient of variation (mix uniformity), body weight uniformity and broiler growth performance during the starter, grower, and finisher periods // *Mix time and broiler performance*. 2023. Vol. 12. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.psj.2023.103109.
10. Сыроваткина В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Физические основы производства гомогенных смесей лечебных, витаминных и минеральных премиксов // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019. № 4 (36). С. 12–19.
11. Обухов А. Совершенствование способов и технических средств приготовления лечебных комбикормов и рабочих премиксов // *Техника и технологии в животноводстве*. 2021. № 1 (41). С. 59–65. DOI: 10.51794/27132064-2021-1-59.
12. Миронова И.В., Латыпова Э.Х., Никутин Е.А., Благоев Д.А. Системы и методы оценки гомогенности кормовых смесей для сельскохозяйственных животных // *Аграрная наука*. 2024. № 382 (5) С. 56–62. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-382-5-56-62.
13. Sakhno T., Semenov A., Barashkov N. Assessing the quality of homogeneity of pet food using ferromagnetic microtracers // *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2020. N 20. P. 32–37. DOI: 10.15673/gpmf.v20i2.1763.

REFERENCES

1. Achkevych O., Bratishko V., Petrenko D., Slipukha T. Justification parameters mixer drum feed additives. *Engineering for rural development*, 2022, pp. 793–798. DOI: 10.22616/ERDev.2022.21.TF240.
2. Lebedev A., Salaev B., Bolaev B., Arylov J., Lebedev P., Rybalkin N. Intensification of the process of mixing feed mixtures. *Science in the central Russia*, 2022, no. 5, pp. 50–59. DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-50-59.
3. Okonkwo C., Moses O., Alhassan E.A., Ogbevire M., Samuel A., Ajao F., Tajudeen O. Design and fabrication of a fish feed mixing cum pelleting machine for small-medium scale aquaculture industry. *Open Agriculture*, 2023, no. 8. DOI: 10.1515/opag-2022-0124.
4. Avakimyan E.V. Determination of the PMV mixer's technological volume. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and technologies in livestock*, 2021, no. 3 (43), pp. 62–65. (In Russian). DOI: 10.51794/27132064-2021-3-62.
5. Poel A., Abdollahi M.R., Cheng H., Colovic R., den Hartog L.A., Miladinovic D., Page G., Sijsens K., Smillie J.F., Thomas M., Wang W., Yu P., Hendriks W.H. Future directions of animal feed technology research to meet the challenges

- of a changing world. *Animal Feed Science and Technology*, 2020, vol. 270. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114692.
6. Sarker P.K. Microorganisms in Fish Feeds, Technological Innovations, and Key Strategies for Sustainable Aquaculture. *Microorganisms*, 2023, no. 11 (2), p. 439. DOI: 10.3390/microorganisms11020439.
 7. Afreen M., Ucak I. Fish processing wastes used as feed ingredient for animal feed and aquaculture feed. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 2020, pp. 55–64. DOI: 10.17762/sfs.v6i2.198.
 8. Pooja Bhalode, Marianthi Ierapetritou. A review of existing mixing indices in solid-based continuous blending operations. *Powder Technology*, 2020, vol. 373, pp. 195–209. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.06.043.
 9. Rubio A.A., Conrad S., Juzaitis-Boelter C., Wishon C.R., Fahrenholz A.C. The impact of marker selection, in-line near-infrared spectroscopy (NIR), and feed mix time on the coefficient of variation (mix uniformity), body weight uniformity and broiler growth performance during the starter, grower, and finisher periods. *Mix time and broiler performance*, 2023, vol. 12, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.psj.2023.103109.
 10. Syrovatkina V.I., Zhdanova N.V., Obukhov A.D. The physical basis for therapeutic, vitamin and mineral premixes' homogeneous mixtures producing. *Vestnik vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva = Journal of the All-Russian Scientific Research Institute of Animal Husbandry Mechanization*, 2019, no. 4 (36), pp. 12–19. (In Russian).
 11. Obukhov A. Improvement of methods and technical means of medical combined feeds and working premixes preparation. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and technologies in livestock*, 2021, no. 1 (41), pp. 59–65. (In Russian). DOI: 10.51794/27132064-2021-1-59.
 12. Mironova I.V., Latypova E.Kh., Nikitin E.A., Blagov D.A. Systems and methods for assessing the homogeneity of feed mixtures for farm animals. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*, 2024, no. 382 (5), pp. 56–62. (In Russian). DOI: 10.32634/0869-8155-2024-382-5-56-62.
 13. Sakhno T., Semenov A., Barashkov N. Assessing the quality of homogeneity of pet food using ferromagnetic microtracers. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 2020, no. 20, pp. 32–37. DOI: 10.15673/gpmf.v20i2.1763.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ширина Ю.М., научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; ORCID 0000-0001-6459-5435, SPIN-код 9216-0545

Кузов А.А., младший научный сотрудник; ORCID 0000-0002-4006-4506, SPIN-код 8752-0445

✉ **Теплякова А.В.**, научный сотрудник; кандидат биологических наук; ORCID 0000-0001-9227-3206, SPIN-код 5540-2884; **адрес для переписки:** Россия, 344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41; e-mail: firsik1991@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Yulia M. Shirina, Researcher, Candidate of Science in Agriculture, Associate Professor; ORCID 0000-0001-6459-5435, SPIN-code 9216-0545

Anton A. Kuzov, Junior Researcher; ORCID 0000-0002-4006-4506, SPIN-code 8752-0445

✉ **Angelina V. Teplyakova**, Researcher, Candidate of Science in Biology; ORCID 0000-0001-9227-3206, SPIN-code 5540-2884; **address:** 41, Chekhov Avenue, Rostov on Don, 344006, Russia; e-mail: firsik1991@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 16.09.2024
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 19.11.2024
Дата публикации / Published 15.04.2025