

УДК 636.085.55

П. В. Писаренко¹, В. Е. Крикунова¹, Т. В. Сахно², О. А. Крикунов³, Н. Н. Барашков⁴

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МИКРОТРЕЙСЕРОВ КАК ИНДИКАТОРОВ КАЧЕСТВА ОДНОРОДНОСТИ КОМБИКОРМОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

¹ПОЛТАВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АГРАРНАЯ АКАДЕМИЯ, УКРАИНА²ПОЛТАВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭКОНОМИКИ И ТОРГОВЛИ, УКРАИНА³ПОЛТАВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АКАДЕМИИ НАУК ТЕХОЛОГИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ, УКРАИНА⁴КОМПАНИЯ «МИКРО-ТРЕЙСЕР», САН-ФРАНЦИСКО, СШАP. V. Pysarenko¹, V. E. Krykunova¹, T. V. Sakhno², O. A. Krykunov³, N. N. Barashkov⁴

APPLICATION FERROMAGNETIC MICROTRACERS AND THEIR USE FOR EVALUATION OF THE HOMOGENEITY OF FEED FOR AGRICULTURE

¹POLTAVA STATE AGRARIAN ACADEMY, UKRAINE²POLTAVA UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TRADE, UKRAINE³POLTAVA DEPARTMENT OF ACADEMY OF SCIENCES OF TECHNOLOGICAL CYBERNETIC, UKRAINE⁴MICRO-TRACERS, INC, SAN FRANCISCO, USA

Аннотация. Дана оценка однородности смешивания компонентов комбикормов с использованием ферромагнитных микротрейсеров (МТ) и показано их преимущество перед другими маркерами; продемонстрировано их использование для контроля уровня контаминации, определяемого через процент загрязнения комбикормов лекарственными добавками, а также для выявления эффективного системного способа очистки оборудования для производства комбикормов.

Ключевые слова: смешивание; комбикорм; качество; микротрейсеры; маркеры; премикс; вращательный детектор; банка Мейсона.

Summary. The estimation of homogeneity of feed mixing with using ferromagnetic microtracers and their advantages over other markers are discussed. Their use was shown for control contamination level determined through percent of pollution of compound feeds by medicinal additives and also for identification effective system way of cleaning the equipment for production compound feeds.

Keywords: feed quality; microtrace; markers; premixes; carryover; cleanout; the Rotary Detector; the Mason Jar.



Павел Викторович Писаренко
Pavel Viktorovich Pisarenko
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
pysarena@mail.ru



Валентина Ефимовна Крикунова
Valentina Efimovna Krykunova
кандидат химических наук,
доцент
krykunovave@gmail.com

Тамара Викторовна Сахно
Tamara Viktorovna Sakhno
доктор химических наук, профессор

Олег Александрович Крикунов
Oleg Aleksandrovich Krykunov

Николай Николаевич Барашков
Nikolay Nikolaevich Barashkov
доктор химических наук, профессор

Введение. В настоящее время производство высокооднородной комбикормовой продукции является актуальной задачей в развитии агропромышленного комплекса, и для сельскохозяйственных предприятий вопросы повышения качества кормов представляются особенно важными. Высококачественный комбикорм – это продукт, который должен отвечать следующим требованиям: сбалансированностью питательных веществ в соответствии с потребностями животных, безопасностью в санитарном отношении, однородностью состава кормосмеси, гарантированным содержанием в ней основных питательных веществ.

Смешивание компонентов – один из основных процессов производства комбикормов, где идеальная смесь должна содержать все сырьевые компоненты в любой единице массы в тех пропорциях, которые определены составом рецепта. Поэтому, достижение надлежащей степени контроля смешивания комбикормов и определения их однородности является одной из основных задач для производителей кормовой продукции [1–3].

Обычно производители комбикормовой продукции для получения данных по качеству смешивания компонентов используют результаты определения так называемых индикаторов или микротрейсеров (МТ) [2]. 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 тонну от 2 до 20 кг, во-вторых, натрий и хлориды могут добавляться в корма с другими компонентами, что мешает верной оценке результатов [4].

Ранее предложенные подходы к оценке качества смешивания материалов и компонентов в кормосмеси включают следующее: весовой метод, ручное разделение смеси на ситовом классификаторе и промывка проб [5], оптические методы анализа сыпучих материалов, кластеризация с использованием коэффициента равномерности смешивания, метод видеосъемки [7], метод на основе анализа цифровых изображений [6], адаптация двух статистических методов и метод Монте-Карло для определения движения зерен как хаотичного и случайного события [8]. Все названные методы являются довольно энергозатратными, трудоемкими и не достаточно информативными.

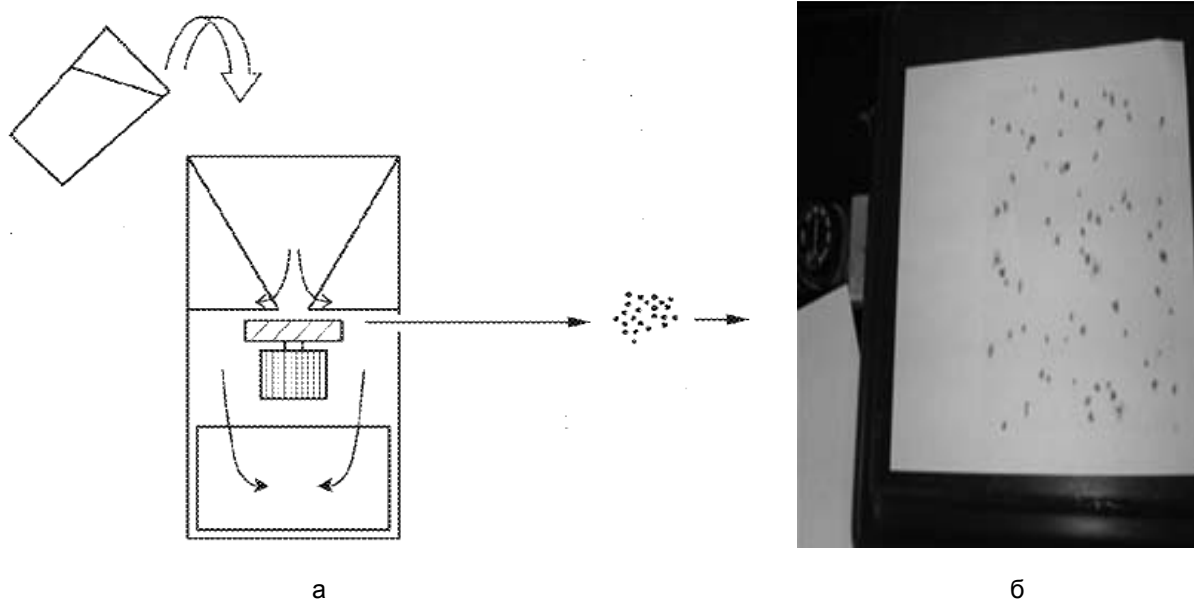
В данной работе для оценки качества однородности кормосмеси предлагается использование нетрадиционных маркеров – ферромагнитных микротрейсеров, которые отвечают всем необходимым требованиям к индикаторам. Качественные результаты по определению и идентификации микротрейсеров в комбикормах могут быть получены с использованием банки Мейсона. Для количественной оценки качества смешивания и оценки уровня контаминации кормовых смесей рекомендовано исполь-

зование вращательного детектора. Методика обсчета экспериментальных данных включает применение статистики Пуассона и расчет значений Хи квадрат [9–12].

Материалы и методы исследования. Для оценки качества смешивания комбикормов все большее распространение получает использование ферромагнитных микротрейсеров, запатентованных и производимых американской компанией Micro-Tracers Inc. (Сан-Франциско, США). В состав этих МТ входят частички железа или нержавеющей стали (размер от 150 до 350 мкм), на поверхности которых адсорбированы пищевые красители различных цветов. Ферромагнитные микротрейсеры предложено вводить в оборудование для смешивания в качестве одной из микродобавок при рекомендуемой дозировке 50 г на тонну перемешиваемого комбикорма.

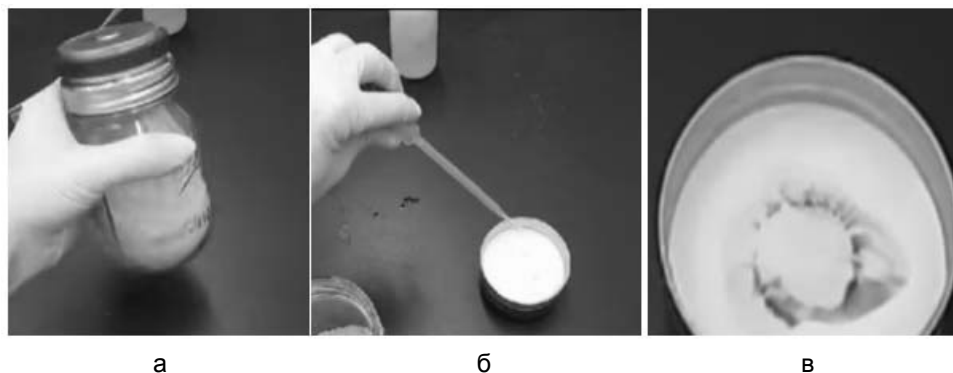
На рисунке 1, а приведен принцип действия вращательного детектора – прибора, производимого компанией Micro-Tracers Inc., для отделения частиц микротрейсеров от образцов комбикорма, содержащих эти частицы. Устройство этого прибора обеспечивает удерживание ферромагнитных МТ на бумаге, помещенной на поверхность магнита, установленного на оси миниатюрного электродвигателя, который встроен в каркас вращательного детектора.

После отделения частиц микротрейсера их переносят на поверхность фильтровальной бумаги достаточно большого размера (например, 18×18 см) и обрабатывают подходящим растворителем (в большинстве случаев смесью этилового спирта и воды). После подсушивания фильтровальной бумаги на электрической плитке (рисунок 1, б), цветные пятна подсчитывают или вручную, или при помощи специальной программы путем сканирования, или использования СМАРТФОНА (<http://www.microtracers.com/downloads>).



а – упрощенная схема извлечения микротрейсеров при помощи магнита, установленного в роторном детекторе; б – типичный вид фильтровальной бумаги с цветовыми пятнами от двух отличных по цвету микротрейсеров.

Рисунок 1 – Принцип действия вращательного детектора и использование детектора для извлечения микротрейсеров из образцов комбикорма



а - общий вид банки Мейсона; б – крышка банки с магнитом;
в – типичный вид цветowych пятен в случае присутствия микротрейсера красного цвета.

Рисунок 2 – Принцип действия банки Мейсона и ее использование для идентификации природы микротрейсеров

Банка Мейсона представляет собой стеклянную емкость, объемом около 600 мл, в крышку которой вделан керамический магнит. Фильтровальная бумага диаметром 7 см помещается внутрь такой крышки, т. е. на поверхность магнита. Достаточно поместить 50–70 г комбикорма или премикса, содержащего ферромагнитный микротрейсер, в банку Мейсона и основательно потрясти ее содержимое в течение 15–20 секунд для того, чтобы основное количество частиц МТ собралось на поверхности фильтровальной бумаги. Простое проявление цветowych пятен водой или смесью воды и спирта

(в большинстве случаев частицы располагаются в виде концентрических кругов, которые соответствуют магнитным линиям керамического магнита) покажет наличие определенного типа микротрейсеров.

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице 1 приведены экспериментальные результаты, полученные в одном из экспериментов с использованием микротрейсеров. Видно, что найденное количество частиц МТ в 5 анализируемых образцах оказывается довольно близким по значению к усредненному числу частиц (96).

Таблица 1 – Экспериментальные результаты по проверке качества смешивания с использованием микротрейсера

Номер анализируемого образца	Количество цветowych пятен (X)*	Абсолютное значение $X - X_{cp}$	Значение $(X - X_{cp})^2$	Хи-квадрат**	Вероятность***
1	88	8	64	310/96 ≈ 3	0,223 × 100 % = 22,3 %
2	100	4	16		
3	86	10	100		
4	105	11	121		
5	99	3	9		
			Сумма = 310		

*) Среднее значение $X_{cp} = 96$

**) Усредненное до ближайшего целого числа

***) Вероятность определена по данным таблицы 2

Таблица 2 – Определения вероятности: по горизонтали – число степеней свободы (число образцов минус 2), по вертикали – значения Хи-квадрат, χ^2

Хи-квадрат χ^2	Число степеней свободы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,317	0,607	0,801	0,910	0,963	0,986	0,995	0,998	0,999
2	0,157	0,368	0,572	0,736	0,849	0,920	0,960	0,981	0,991
3	0,083	0,223	0,392	0,558	0,700	0,809	0,885	0,934	0,964
4	0,046	0,135	0,261	0,406	0,549	0,677	0,780	0,857	0,911
Данные рядов от 5 до 13 опущены*									
13	0	0,002	0,005	0,011	0,023	0,043	0,072	0,112	0,1163
14	0	0,001	0,003	0,007	0,016	0,030	0,051	0,082	0,122
15	0	0,001	0,002	0,005	0,010	0,020	0,036	0,059	0,091

*) Таблица приведена полностью на сайте компании Micro-Tracers Inc <http://www.microtracers.com/upload/File/itemp.htm>.

Оценку качества смешивания по методике, разработанной компанией Micro-Tracers Inc [13], проводили на основании статистики Пуассона с использованием значения Хи-квадрат, χ^2 (таблицы 1, 2).

Согласно общепринятым в статистике нормам подсчитывается величина вероятности, которая в случае примера, приведенного в таблице 1, составляет 22,3 % [9].

Количество частиц любого i -го компонента в выборках, имеющих одинаковую массу, взятую из данной партии комбикорма после завершения цикла смешивания, является величиной случайной, которая определяется Пуассоновским или биномиальным законом распределения [1].

В зависимости от величины вероятности принято выделять три типа оценки гомогенности полученных смесей:

- а) полное смешивание (вероятность выше 5 %);
- б) промежуточное (вероятность между 1 и 5 %);
- в) неполное смешивание (вероятность ниже 1%) [10].

Таким образом, результаты, приведенные в таблице 1, следует отнести к случаю полного смешивания.

К несомненным преимуществам ферромагнитных микротрейсеров, по сравнению, например, с использованием в качестве микротрейсеров производных кобальта или марганца, относится отсутствие необходимости уничтожения содержимого смесителей после окончания теста. Это связано с полной безопасностью ферромагнитных микротрейсеров. Напротив, повышенная концентрация солей тяжелых металлов (Со, Мп) в случае их использования в качестве микротрейсеров приводит к тому, что тестируемый объем смеси становится опасным для животных и подлежит уничтожению [14].

Многочисленные исследования, проведенные в США [14; 15], Сербии [16], Польше [17], Ирландии [18], Италии [19], России [3] и других странах, показывают высокую эффективность и быстроту использования ферромагнитных микротрейсеров для оценки однородности кормов.

Применение маркеров является оправданным для решения конкретных задач, которые включают [2]:

1 Сравнение смесителей между собой на основании изучения эффективности распределения в них маркера по смеси,

2 Выявление изменений технической характеристики смесителя при эксплуатации с течением времени,

3 Выявление изменения состава или физических свойств смеси на распределение в ней индикатора.

К другим преимуществам этих микротрейсеров относится следующее:

– для их определения применяется аналитическая процедура с известной и фиксированной точностью и погрешностью;

– аналитическая процедура с их применением отличается экономичностью, и расход трейсеров не превышает 50 г на тонну премикса или комбикорма;

– тестирование производится практически «на месте», нет необходимости в использовании дорогостоящей аппаратуры;

– ферромагнитные трейсеры не меняют цвет премиксов и комбикормов, и результаты тестирования хо-

рошо воспроизводятся. Это связано с тем фактом, что частицы маркеров достаточно равномерны по размерам и определенное количество частиц в грамме микротрейсера гарантировано их производителем.

Возможность проведения тестирования с микротрейсерами определенной окраски (синего, красного, желтого, зеленого, оранжевого, фиолетового и других цветов) предоставляет перспективу одновременного использования в одном тесте 2, 3 и более цветных микротрейсеров. Это обуславливает такое преимущество, как определение оптимального времени перемешивания в одном эксперименте [14].

Добавлять МТ в комбикорм лучше в составе смеси, с которой они вручную смешиваются с другими обычными компонентами комбикормов. Количество такой смеси в исследуемом комбикорме должно быть аналогично количеству компонента, который в соответствии с рецептурой вводится в комбикорм в минимальной дозе. Например, если какой-то препарат добавляют в количестве 500 г на тонну, то для получения одной тонны комбикорма готовится смесь 50 г микротрейсера в 500 г данного компонента. Введение смеси компонента, содержащего микротрейсер, происходит в том же месте, где и введение других микрокомпонентов. Тогда результаты исследования подтвердят существующие процедуры дозирования и смешивания при производстве готовой продукции.

Иногда возникают вопросы, касающиеся снижения продуктивности животных и птицы из-за несоответствия комбикормов рецептуре или даже отсутствия необходимого лекарственного препарата. В этом случае определить наличие маркированного продукта очень просто, так как существует и качественный метод с использованием банки Мейсона, и количественный метод с применением вращающегося детектора.

Так, производитель премикса вводит в свою продукцию маркеры одного цвета (например, красного), и определить наличие такого премикса в комбикорме с помощью банки Мейсона – дело нескольких минут. Также легко проверить, добавлен ли любой другой компонент в комбикорм или концентрат.

Производя высокооднородные комбикорма во многих странах мира комбикормовые заводы, независимо от того, добавляют они лекарственные вещества в корма или нет, зарегистрированы в соответствующих национальных государственных органах и обладают данными, подтверждающими однородность смешивания компонентов комбикормов, а также уровень их контаминации.

Минимизировать перекрестное загрязнение лекарственными средствами нелечебных кормов очень важно, так как их остатки при высоких уровнях могут быть просто токсичными, например, никарбазин в комбикормах для племенной птицы, салиномицин в комбикормах для взрослых индеек, моненсин в кормовых смесях для лошадей [15].

Вывод. 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.

Метод определения контаминации с помощью микротрейсеров относится к простым и доступным методам. Его можно использовать не только для определения процента загрязнения комбикормов лекарственными добавками, но и выявления наиболее эффективной системы очистки смесительного оборудования.

Микротрейсеры могут быть полезны и в момент приобретения оборудования, так как позволяют быстро определить качество его работы. Производителю важно знать время и скорость смешивания, эффективный объем смеси, размер частиц компонентов смеси. Вся эта

информация может быть получена при использовании микротрейсеров.

Ферромагнитные микротрейсеры нашли широкое применение в 66 странах мира, с их использованием приготовлено более 500 млн т готовой продукции.

Сегодня для маркировки своей продукции их используют крупные производители лекарственных препаратов. И все это потому, что из всех известных методов определения однородности смеси применение микротрейсеров – самый быстрый, доступный и экономичный метод.

Список литературы

- 1 Панин И. Г., Колпаков Ю. М., Гречишников В. Оценка вариации распределения микрокомпонентов в суточном рационе // Комбикорма. – 2011. – № 4. – С. 31–32.
- 2 Крюков В. Производство однородных комбикормов и премиксов // Животноводство России. – 2010. – № 8. – С. 59–62.
- 3 Черемных Л. А. Проверка качества смешивания стала проста и доступна // БИО. Журнал для специалистов птицеводческих и животноводческих хозяйств. – 2008. – № 9 (96). – С. 35–37.
- 4 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. – V. 209. – P. 249–256.
- 5 Оценка качества смешивания сыпучих материалов с различным размером фракций / В. В. Воронин, К. А. Адигамов, Р. И. Черкасов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2.
- 6 Дёмин 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.
- 7 Шубин И. Н., Свиридов М. М., Баранов А. А. Способ определения качества смеси сыпучих материалов // Труды ТГТУ : Сб. науч. статей. – Тамбов. – 2003. – С. 116–119.
- 8 Krolczyk 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 // EJPAU. – 2005. – V. 8(4). <http://www.ejpau.media.pl/volume8/issue4/art-78.html> 6. 6.
- 9 Eisenberg D. Mix with Confidence / Eisenberg D. International Milling, June 1994. – P.1–5.
- 10 Eisenberg S. Markers in Mixing Testing: Closer to Perfection / Eisenberg S., Eisenberg D. Feed Management, November. – 1992. – P. 1–4.
- 11 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 // 7th International Conference Physics of Liquid Matter: Modern Problems, May 27–30. – 2016. – P.146.
- 12 Ферромагнитные микротрейсеры как индикаторы качества однородности комбикормов для животноводства и птицеводства / Н. Н. Барашков, П. В. Писаренко, В. Е. Крикунова [и др.] // Зерновые продукты и комбикорма. – 2016. – С. 34–40.
- 13 Barashkov N., Eisenberg D., Eisenberg S., Mohnke J. Ferromagnetic microtracers and their use in feed applications // XII Int. Feed Technol. Symp. Novi Sad, 2008.
- 14 GMP+ Certification Scheme for the Animal Feed Sector 2006 (version: 20.10.'09/corr.09.11.'09).
- 15 Трепалина Е. Галкин А. Тест-системы для контроля ионофорных кокцидиостатиков в кормах // Комбикорма. – 2015. – № 5. – С. 83–85.
- 16 Đuragić, J. Lević, S. Sredanović, Lj. Lević, Evaluation of homogeneity in feed by method of Microtracers® // Arch. Zootecn. – 2009. – 12. – P.85–91.
- 17 Krolczyk J. The effect of m mixing time on the homogeneity of multi-component granular systems // Transactions of famena. – 2016. – XL–1. – P. 45–56.
- 18 Corrigan O. I., Wilkinson M. L., Ryan J., Harte K. & Corrigan O. F. The Use of Microtracers® in a Medicat-ed Premix to Determine the Presence of Tiamulin in Final Feed // Drug Development and Industrial Pharmacy. – 1994. – V. 20(8). – P. 1503–1509.
- 19 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. – Anno 8. – n. 1. – P. 1–4.