




original article | UDC 636.085/.087-025.24:001.82:006.015.5 | doi: 10.31210/visnyk2022.01.12

DETERMINATION OF HOMOGENEITY OF FEED FOR ANIMALS USING FERROMAGNETIC MICROTRACERS


T. V. Sakhno^{1,2*}

ORCID  [0000-0001-7049-4657](https://orcid.org/0000-0001-7049-4657)


*A. O. Semenov*²

ORCID  [0000-0003-3184-6925](https://orcid.org/0000-0003-3184-6925)

*Y. E. Sakhno*³

ORCID  [0000-0001-8115-739X](https://orcid.org/0000-0001-8115-739X)

*N. N. Barashkov*⁴

ORCID  [0000-0003-2494-9248](https://orcid.org/0000-0003-2494-9248)

¹ Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine

² Poltava University of Economics and Trade, 3, Kovalia str., Poltava, 36003, Ukraine

³ University of Delaware, 210 South College Ave. Newark, Delaware, DE 19716, USA

⁴ Micro Tracers, Inc., 1370 Van Dyke Ave, San Francisco, California, CA 94124, USA

*Corresponding author

E-mail: sakhno2003@ukr.net

How to Cite

Sakhno, T. V., Semenov, A. O., Sakhno, Y. E., & Barashkov, N. N. (2022). Determination of homogeneity of feed for animals using ferromagnetic microtracers. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy, (1), 96–102. doi: 10.31210/visnyk2022.01.12

As the productivity of animals increases, there is a necessity to increase the requirements for feed homogeneity. In countries with developed livestock feed with homogeneity of 95 % consider to be excellent, 90 % – good, 80 % or less – unacceptable. The requirement for homogeneity of compound feeds has increased in recent years due to the complexity of their formulation, which includes more and more components. Besides, it is not important whether the components get into the feed directly through the mixer or they introduced through premixes. The article substantiates the feasibility of using ferromagnetic microtracers to evaluate the homogeneity of feed in order to improve their quality, and obtain an international certificate of GMP + (B1 and B2). Ferromagnetic microtracers are particles of iron or stainless steel, on the surface of which are adsorbed food dyes of different colors. When preparing vitamin, mineral or medicinal premixes, the microtracer is used to indicate their presence in the finished feed, as well as to identify feed additives and feeds containing such additives. The studies were performed using a rotary detector using manufacturer-certified Microtracers F-series (particle size from 125 to 400 microns). Analysis of the quality of the mixing process was performed in accordance with the new version of the GMP + BA2 standard using as an example a domestic feed mill. 20 samples were taken and statistical evaluation was performed according to the Poisson distribution. The calculated probability of homogeneity of compound feed mixing was good ($p = 5.1\%$), which meets the requirements of the international standard GMP + B1. Such feed is safe for animals and provides guarantees to the consumer in the production, processing, trade, storage and transportation of feed ingredients and animal feed not only in Ukraine but also in most European countries.

Key words: *compound feed, microtracer, homogeneity, rotary detector, international standard GMP +, mixing.*

ВИЗНАЧЕННЯ ГОМОГЕННОСТІ КОРМІВ ДЛЯ ТВАРИН З ВИКОРИСТАННЯМ ФЕРОМАГНІТНИХ МІКРОТРЕЙСЕРІВ

Т. В. Сахно^{1,2}, *А. О. Семенов*², *Ю. Е. Сахно*³, *М. М. Барашков*⁴

¹ Полтавський університет економіки і торгівлі, м. Полтава, Україна

² Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

³ Університет Делавера, м. Ньюарк, Делавер, США

⁴ Micro Tracers, Inc., м. Сан-Франциско, Каліфорнія, США

Зі збільшенням продуктивності тварин підвищуються вимоги до однорідності кормів. У країнах з розвиненим тваринництвом комбікорм з однорідністю 95 % вважають відмінним, 90 % – добрим, 80 % і менше – не прийнятним. Вимога до однорідності комбікормів за останні роки зросла у зв'язку з ускладненням їх рецептури, що включає все більше компонентів, при цьому не відіграє особливої ролі: чи компоненти потрапляють у корми безпосередньо в змішувач або з преміксами. У статті обґрунтовано доцільність використання феромагнітних мікротрейсерів для оцінки гомогенності кормів з метою підвищення їх якості й отримання міжнародного сертифіката GMP+ (B1 та B2). Феромагнітні мікротрейсери є частинками заліза або нержавіючої сталі, на поверхні яких адсорбовані харчові барвники різних кольорів. При складанні вітамінних, мінеральних або лікарських преміксів мікротрейсер використовується для позначення їхньої присутності в готових кормах, а також для ідентифікації кормових добавок та кормів, що містять такі добавки. Дослідження проводились за допомогою обертого детектора з використанням сертифікованих виробником мікротрейсерів Microtracer F (розмір частинок яких від 125 до 400 мікрон). Аналіз якості процесу змішування відповідно до нової версії стандарту GMP+BA2 проводився для працюючого вітчизняного комбікормового заводу. Було відібрано 20 зразків і здійснено статистичну оцінку відповідно до розподілу Пуассона. Розрахована ймовірність однорідності змішування комбікормів виявилася гарною ($p = 5,1\%$), що відповідає вимогам міжнародному стандарту GMP+B1. Такий комбікорм є безпечним для тварин і надає гарантії споживачеві щодо виробництва, обробки, торгівлі, зберігання та транспортування кормових інгредієнтів і кормів для тварин не лише в Україні, а й у більшості європейських країн.

Ключові слова: комбікорм, мікротрейсер, гомогенність, обертольний детектор, міжнародний стандарт GMP+, змішування.

Вступ

Комбікормова галузь є запорукою розвитку тваринництва, птахівництва, рибальства та харчової промисловості, зокрема виробництва м'ясоковбасних виробів і являється досить перспективною через існування потужної сировинної бази в Україні. Для того, щоб конкурувати як на внутрішньому, так і на європейському ринках, підприємства повинні виробляти безпечні харчові продукти високої якості, які відповідають очікуванням споживачів [1]. При цьому набуває актуальності запровадження системи управління якістю, щоб переконатися, що підприємство контролює безпеку виробленого корму [2, 3]. У даний час для контролю якості змішування кормів застосовуються тести на однорідність, засновані на різних індикаторах або трейсерах, наприклад, харчових барвниках [4, 5]. Як трейсери сучасні методики також передбачають використання таких речовин, як хлориди, сполуки фосфору, кальцію, марганцю, кобальту, а також вітаміни, амінокислоти, лікарські препарати [6, 7].

Доцільно зазначити, що одним із важливих етапів виробництва промислових кормів є процес змішування, який визначає однорідність суміші, що, як наслідок, впливає на кінцеву якість корму [8]. Контролювати цей процес також важливо для виробників кормів для тварин, які експортують його на європейський ринок, для отримання сертифіката GMP+ (B1 та B2) [9].

Встановлено, що однорідність корму для курчат та поросят раннього віку є важливим фактором, що впливає на зростання та споживання корму. Тварини старшого віку споживають більше корму, який довше затримується у шлунково-кишковому тракті, тому вони менш чутливі до варіабельності його складу [10–12].

На сьогодні проведення досліджень якості змішування кормів найбільш ефективно за допомогою маркерів – феромагнітних мікротрейсерів, виробництва Американської компанії Micro-Tracers, Inc (Сан-Франциско, Каліфорнія, США), що обумовлено їх перевагами [13]:

- 1) їх повна безпека для тварин, що призводить до відсутності необхідності знищення вмісту змішувачів після закінчення тесту;
- 2) низька витрата мікротрейсера (не більше 50 г на тону преміксу або комбікорму);
- 3) відомі та фіксовані точність і похибка;
- 4) аналіз може бути виконаний на місці виробництва кормів, що особливо корисно за необхідності діагностики проблем змішування, які вимагають швидких відповідей.

Феромагнітні мікротрейсери широко використовуються в таких галузях сільськогосподарського виробництва, як оцінка якості змішування продукції, маркування компонентів комбікормів, контроль за крос-контамінацією та оцінка ефективності роботи змішувачів [14, 15]. Перевірка процесу змішування продукції передбачає такі процедури: вибір індикатора, додавання мікротрейсера до тестової подачі, відбір проб продукції, аналіз зразків, інтерпретація результатів [16, 17]. Аналіз якості змішування здійснюється за допомогою банки Мейсона (рис. 1) або обертального детектора (рис. 2).



Рис. 1. Банка Мейсона, фільтрувальний папір, розчинник



Рис. 2. Обертальний детектор для аналізу наявності мікротрейсерів

Феромагнітні мікротрейсери є частинками заліза або нержавіючої сталі, на поверхні яких адсорбовані харчові барвники різних кольорів. Існують три типи мікротрейсерів, що виробляються на основі заліза (Microtracers TM) [18]:

1. Microtracer F (залізна крихта, 25 тис. частинок на грам).
2. Microtracer FS (нержавіюча сталь, 50 тис. частин на грам).
3. Microtracer RF (відновлений порошок заліза, більше 1 млн частинок на грам).

При складанні вітамінних, мінеральних або лікарських преміксів мікротрейсер використовується для позначення їхньої присутності в готових кормах, а також для ідентифікації кормових добавок та кормів, що містять такі добавки [19]. При кількісному аналізі Microtracers можуть використовуватися не тільки для визначення ефективності змішування, але і для оцінки адекватності періодичного «очищення» змішувачів та іншого обладнання при виробництві кормів [20]. Виявлення трейсера у зразках готового корму здійснюється за допомогою магнітного зонда [21].

Мета дослідження: проаналізувати гомогенність кормів для тварин за допомогою феромагнітних мікротрейсерів з метою підвищення їх якості й отримання міжнародного сертифіката GMP+ (B1 та B2).

Завдання дослідження: розкрити доцільність використання феромагнітних мікротрейсерів для визначення якості змішування комбікормів (однорідність суміші), що, як наслідок, впливає на кінцеву якість корму для тварин; обґрунтувати доцільність сертифікації виробництва кормів для тварин відповідно до міжнародних сертифікатів GMP+B1 та GMP+B2; оцінити якість процесу змішування комбікормів за допомогою кількості частинок мікроіндикаторів у послідовних пробах.

Матеріали і методика досліджень

Сьогодні нами проводяться лабораторні дослідження якості змішування кормів для тварин за допомогою обертального детектора (рис. 2) з використанням сертифікованих виробником Microtracer F (розмір частинок яких від 125 до 400 мікрон) та метод F-Lake 100 м. д. Завдяки цьому аналізу виробники можуть отримати міжнародні сертифікати GMP+B1 та GMP+B2, відповідно до стандарту GMP+BA 2.

Розглянемо дослідження аналізу технології виробництва промислових комбікормів на працюючому вітчизняному комбікормовому заводі, взявши стадію змішування як контрольні точки, що мають

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ТВАРИННИЦТВО

критичне значення для безпечності харчової продукції. Щороку завод проходить аудит Голландських фахівців на відповідність міжнародному стандарту GMP+B1. Тому дослідження якості процесу змішування відповідно до нової версії стандарту GMP+BA2 є обов'язковим.

Дослідження оцінки якості процесу змішування проводилося відповідно до наведеного стандарту, який передбачає проходження наступних етапів для вимірювання однорідності та перехресного забруднення змішувачів з використанням мікротрейсерів.

1. Невеликий паперовий фільтр поміщали на магніт у обертальному детекторі та накрили верхній бункер.

2. Зважували зразків в мішечках, фіксували вагу.

3. Повністю перенесли зразок у працюючий обертальний детектор, залишок в мішечку зважили та записали.

4. Зупинили бункер обертального детектора.

5. Увімкнули обертальний детектор для так званого режиму чищення (він працює протягом 5 с, а потім знову автоматично зупиняється). Протягом цих 5 с очистили невеликий фільтрувальний папір і край кільця, що фіксує, від легких домішок корму (в основному, дрібних частинок пилу) за допомогою щітки.

6. Повністю змочили великий фільтрувальний папір у резервуарі для проявочного розчину, поклали фільтрувальний папір на чисту гладку робочу поверхню та видалили надлишки проявочного розчину папером.

7. Зняли кільце з магніту й обережно перенесли невеликий фільтрувальний папір прямо вгору від ротора без втрати частинок мікротрейсера.

8. Розмагнітили частинки мікротрейсера на маленькому фільтрувальному папері.

9. Перенесли маленький фільтрувальний папір горизонтально над великим фільтрувальним папером.

10. Висипали частинки мікротрейсера з маленького фільтрувального паперу на великий фільтрувальний папір так, щоб усі частинки лежали окремо.

Приблизно через 10 с перенесли великий фільтрувальний папір в сушильну шафу, і поява кольору частинок мікротрейсера зупиняється за рахунок тепла.

11. Пінцетом витягли великий фільтрувальний папір із сушильної шафи, коли вона висохне. Підписали великий фільтрувальний папір олівцем.

Кожна частка мікротрейсера проявляється у вигляді кольорової точки на великому фільтрувальному папері (рис. 3).

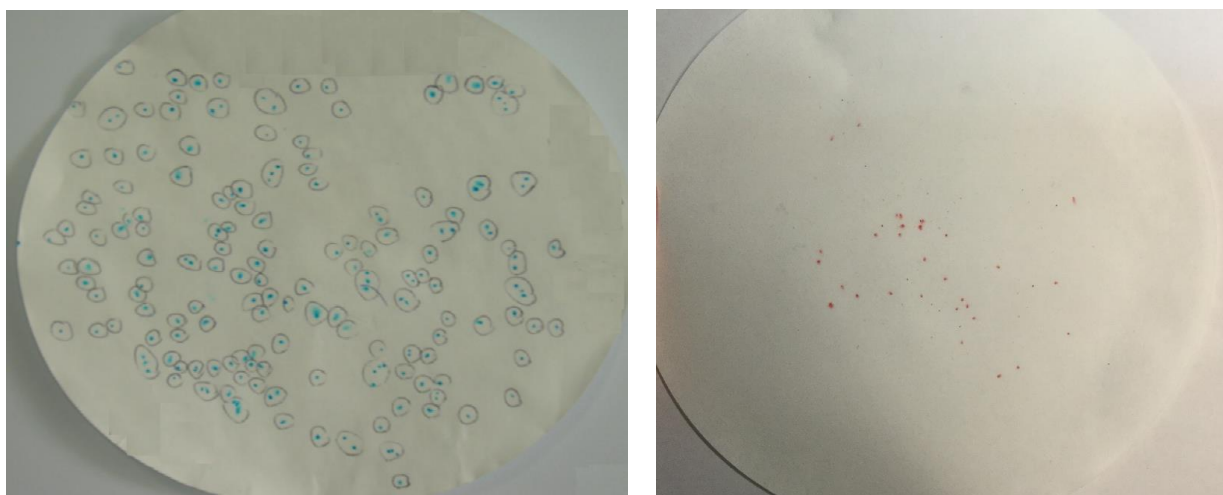


Рис. 3. Визначення кількості мікротрейсерів на фільтрувальному папері

Кількість кольорових точок дорівнює кількості частинок. Підрахунок точок здійснюється розрахунком або за допомогою відповідної комп'ютерної системи (наприклад, системи оцінки та оцінки зображень TraCo). Для отримання правильних результатів статистична оцінка виконується відповідно до розподілу Пуассона [22].

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ТВАРИННИЦТВО

Результати досліджень і їх обговорення

У дослідженні якості змішування кормів був використаний типовий змішувач для широко використовуваної конструкції лінії дозування та змішування. Суміш в обох змішувачах дозували автоматично, рекомендований виробником час змішування становить 3 хв. Відповідно до стандартів на комбікорм змішувачі повинні характеризуватися здатністю до змішування: для виробництва всіх кормових сумішей (здатність змішування 1 : 10000) – коефіцієнт варіації $\leq 15\%$, для виробництва преміксів (здатність змішування 1 : 100000) – коефіцієнт варіації $\leq 10\%$.

Отримані результати вимірювань перевіряли статистично для визначення коефіцієнта варіації як величини для оцінки якості процесу змішування на основі критеріїв (табл.).

Кількість частинок мікроіндикаторів у послідовних пробах (за повторами), відібраних під час розвантаження змішувача комбікормів

Кількість мікротрейсерів у проаналізованих зразках		Розрахунки	
		показник	значення
130	138	Кількість проаналізованих зразків	20
124	161	Ступінь свободи	19
146	134	Середнє значення	140,9
151	148	Середнє квадратичне відхилення	14,93
160	160	Коефіцієнт варіації, %	10,6
145	158	Коефіцієнт варіації Пуассона, %	8,42
134	141	Хі-квадрат	30,06
141	143	Ймовірність однорідності, %	5,1
107	150		
112	135		

З наведених у таблиці експериментальних результатів, отриманих при перевірці роботи змішувача комбікормів з допомогою мікротрейсерів видно, що виявлена кількість їх частинок в 20 аналізованих зразках виявляється досить близькою за значенням до усередненого числа частинок.

Використання ймовірності p (оцінка однорідності) визначається наступним чином:

- якщо $p \geq 25\%$, можна зробити висновок, що суміш відмінна. Чим ближче значення p до 100% , краще суміш.

- якщо $5\% \leq p < 25\%$, можна зробити висновок, що суміш є гарною.

- якщо $1\% \leq p < 5\%$, однозначного статистичного висновку зробити не можна. Рекомендується повторити тест.

- якщо $p < 1\%$, можна дійти невтішного висновку, що суміш неоднорідна.

Отже, за результатами дослідження можемо зробити висновок, що змішування комбікорму є гарним, оскільки значення p знаходиться у діапазоні між 5% і 25% .

Висновки

Проведені дослідження свідчать, що аналіз гомогенності кормів для тварин за допомогою феромагнітних мікротрейсерів дозволяє оцінити якість змішувачів, що використовуються виробниками. Це підтверджує безпеку кормів для тварин і надає гарантії споживачеві щодо виробництва, обробки, торгівлі, зберігання та транспортування кормових інгредієнтів і кормів для тварин не лише в Україні, а й у більшості європейських країн.

За результатами аналізу кількості частинок мікроіндикаторів у послідовних пробах (за повторами), відібраних під час розвантаження змішувача комбікормів, зроблено висновок, що змішування комбікорму є гарним, оскільки значення ймовірності однорідності знаходиться у діапазоні між 5% і 25% . Таким чином, виробництво відповідає міжнародному стандарту GMP+B1, а корм для тварин може реалізовуватися на європейському ринку.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні доцільності перевірки якості змішування кормів для власних потреб виробника.

References

1. Kordzaia, N. R. (2020). Systemy upravlinnia yakistiu ta bezpechnistiu kharchovoi produktsii u sviti. *Yakist i bezpechnist kharchovoi produktsii i syrovyny – problemy sohodennia: materialy mizhnarodnoi konferentsiia*. Lviv : Vydavnytstvo «Rastr-7» [In Ukrainian].
2. Shestopal, H. S., & Havryliak, M. Ya. (2017). Systemnyi pidkhid do bezpechnosti kharchovoi produktsii v YeS ta Ukraini. *Tovarovnavchyi Visnyk*, 10, 5–13. [In Ukrainian].
3. Matuszek, D. (2020). Fluorescence in the assessment of the share of a key component in the mixing of feed. *Open Chemistry*, 18, 1086–1092. doi: 10.1515/chem-2020-0145
4. Sakhno, T. V., Pisarenko, P. V., Korotkova, I. V., Omelian, O. M., & Barashkov, N. N. (2018). The application of statistical methods of quality management by GMP+ standards using ferromagnetic microtracers. *Grain Products and Mixed*, 18 (3), 39–44. doi: 10.15673/gpmf.v18i3.1078
5. Eisenberg, S., & Eisenberg, D. (1992). Markers in mixer testing: closer to perfection. *Feed Management*, 11, 8–20.
6. Hernández, L. G., García, P. J., & Gaytán-Martínez, M. (2019). Tracers used in granular systems: review. *Powder Technology*, 340, 274–89. doi: 10.1016/j.powtec.2018.09.025
7. Barashkov, N. N. Pisarenko, P. V., Krikunova, V. Yu., Sakhno, T. V., & Krikunov, O. A. (2016). Ferromagnitnye mikrotrejsery kak indikatory kachestva odnorodnosti kombikormov dlya zhivodnovodstva i pticevodstva. *Zernovi Produkty i Kombikormy*, 63 (3), 34–40. doi: 10.15673/gpmf.v63i3.219 [In Russian, In Ukrainian].
8. Heidenreich, E., & Strauch, W. (2000). Decisive factors for solids mixing process in compound feed production. Part 2. *Feed Magazine*, 7–8, 286–292.
9. Control of residues GMP+ BA 2 Version EN: 1 April 2019 GMP+ Feed Certification scheme. Retrieved from: <https://www.gmpplus.org/media/zexalqyf/gmp-ba2-en-20190401.pdf>
10. Matuszek, D. B., & Biłos, Ł. A. (2021). Computer Image Analysis as A Method of Evaluating the Quality of Selected Fine-Grained Food Mixtures. *Sustainability*, 13, 3018. doi: 10.3390/su13063018
11. Çiftci, İ., & Ercan, A. (2003). Effects of diets of different mixing homogeneity on performance and carcass traits of broilers. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 12 (1), 163–171. doi: 10.22358/jafs/67693/2003
12. Groesbeck, C. N., Goodband, R. D., Tokach, M. D., Dritz, S. S., Nelssen, J. L., & De Rouche, J. M. (2007). Diet mixing time affects nursery pig performance. *Journal of Animal Science*, 85, 1793–1798.
13. Sakhno, T. V., Korotkova, I. V., & Barashkov, N. N. (2017). Vychennia sehrehatsii feromagnitnykh mikrotreiserov vid premyksiv: rezultaty testuvannia v modelnykh umovakh i umovakh transportuvannia i zberihannia. *Zernovi Produkty i Kombikormy*, 17 (2), 28–33. [In Ukrainian].
14. Susilo, S. H., Asrori, A., & Gumono, G. (2021). Analysis of the effect of stirrer and container rotation direction on mixing index (Ip). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (111)), 86–91. doi: 10.15587/1729-4061.2021.233062
15. Sakhno, T., & Semenov, A. (2022). Perevirka yakosti zmishuvannia kormiv ta premiksiv za dopomohoiu feromagnitnykh mikrotreiseriv. *Kormy i Fakty*, 1, 10. [In Ukrainian].
16. Chen, H., Zhao, X., Xiao, Y., Liu, Y., & Liu, Y. (2016). Radial mixing and segregation of granular bed bi-dispersed both in particle size and density within horizontal rotating drum. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26 (2), 527–535. doi: 10.1016/s1003-6326(16)64110-9
17. Krolczyk, J. B. (2016). The Effect of Mixing Time on the Homogeneity of Multi-Component Granular Systems. *Transactions of Famena*, 40 (1), 45–56.
18. Irgibaeva, I., Barashkov, N., Sakhno, T., Mantel, A., Mendigaliyeva, S., Barashkova, I., & Sakhno, Y. (2020) Synthesis of iron nanoparticles by thermal decomposition of diironnonacarbonyl in ionic liquid and their potential use as nanotracers for mixer studies in liquids feeds. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 10, 201–209. doi: 10.4236/aces.2020.103015
19. Sakhno, T., Semenov, A., & Barashkov, N. (2020). Assessing the quality of homogeneity of pet food using ferromagnetic micro tracers. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 20 (2 (78)), 32–37. doi: 10.15673/gpmf.v20i2.1763
20. Eisenberg, D. A. (1992). Microtracers™ F and their uses in assuring the quality of mixed formula feeds. *Advanced Feed Technology*, 7, 78–85.
21. Barashkov, N., Eisenberg, D., Eisenberg, S., & Mohnke, J. (2007). Ferromagnetic microtracers and their use in feed applications. *XII International Feed Technology Symposium*. Retrieved from: <https://studylib.net/doc/7485298/ferromagnetic-microtracers-and-their-use-in-feed-applications>.

22. Omelyan, A. N., Krikunova, V. E., Samojlik, M. S., Shiyan, N. I., Krikunov, O. A., & Sakhno, T. V (2019). Teoreticheskie osnovy ocenki kachestva kormovyh smesej. O. O. Horb, T. O. Chaika, & I. O. Yasnolob (Reds.), *Pryrodno-resursnyi ta enerhetychnyi potentsialy: napriamy zberezhennia, vidnovlennia ta ratsionalnoho vykorystannia: kolektyvna monohrafiia.* (s. 186–198). Poltava: Vydavnytstvo PP «Astraia» [In Russian, In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції: 18.01.2022 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Сахно Т. В., Семенов А. О., Сахно Ю. Е., Барашков М. М. Визначення гомогенності кормів для тварин з використанням феромагнітних мікротрейсерів. *Вісник ПДАА.* 2022. № 1. С. 96–102.

© Сахно Тамара Вікторівна, Семенов Анатолій Олексійович, Сахно Юрій Едуардович,
Барашков Микола Миколайович, 2022