

ISSN 1561-8331 (Print)

ISSN 2524-2342 (Online)

УДК 631.223.6.018:631.22.018

<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2025-61-2-165-171>

Поступила в редакцию 18.02.2025

Received 18.02.2025

А. А. Ратько, В. В. Шевчук, Н. П. Крутько¹

*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь*

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НАВОЗНЫХ СТОКОВ СВИНО- И ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Аннотация. Перевод животноводства на промышленную основу, строительство крупных свино- и птицеводческих комплексов обуславливают значительную концентрацию навоза на таких предприятиях. Разработана технология глубокой переработки свиного навоза и куриного помета для их последующего применения в качестве органической составляющей комплексных органоминеральных удобрений. Одной из ключевых стадий предложенной технологии является обработка навозных масс химическими реагентами, позволяющими достичь эффекта дезодорации и обеззараживания навоза. Разработанная технология позволяет получить гранулированные органоминеральные удобрения с использованием обработанных навозных масс.

Ключевые слова: свино- и птицеводческие комплексы, химические методы обработки навозных масс, эмиссия газов, удаление запаха, технологии глубокой переработки навозных стоков

Для цитирования. Ратько, А. А. Разработка технологии глубокой переработки навозных стоков свино- и птицеводческих комплексов и их использование для производства органоминеральных удобрений / А. А. Ратько, В. В. Шевчук, Н. П. Крутько // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2025. – Т. 61, № 2. – С. 165–171. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-61-2-165-171>

A. A. Rat'ko, V. V. Shevchuk, N. P. Krut'ko

Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF DEEP PROCESSING OF PIG AND CHICKEN MANURE AND THEIR USE FOR THE PRODUCTION OF ORGANOMINERAL FERTILIZERS

Abstract. The transfer of livestock farming to an industrial basis and the construction of large pig and poultry complexes lead to a significant concentration of manure at such enterprises. A technology has been developed for deep processing of pig manure and chicken manure for their subsequent use as an organic component of complex organomineral fertilizers. One of the key stages of the proposed technology is the treatment of manure with chemical reagents, allowing to achieve the effect of its deodorization and disinfection. The developed technology makes it possible to obtain granulated organomineral fertilizers based on treated manure masses.

Keywords: pig and poultry complexes, chemical methods for manure treatment, gas emissions, odor removal, technologies for deep processing of manure waste

For citation. Rat'ko A. A., Shevchuk V. V., Krut'ko N. P. Development of technology of deep processing of pig and chicken manure and their use for the production of organomineral fertilizers. *Vesti Natsyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seriya himichnykh navuk = Proceedings of the National academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2025, vol. 61, no. 2, pp. 165–171 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-61-2-165-171>

Введение. Значительный прирост народонаселения обуславливает постоянно возрастающую потребность в пищевых ресурсах и ожидается, что к 2050 г. количество потребляемой населением Земли пищи удвоится [1, 2]. В последние несколько лет в некоторых странах наблюдается дефицит питания и рост потребления белков животного происхождения, что провоцирует дальнейший рост объемов производства мясоперерабатывающей промышленности [3].

Одной из основных проблем животноводства является обеспечение экологической безопасности собственных предприятий. Перевод животноводства на промышленную основу, строительство крупных свино- и птицеводческих комплексов являются причиной значительной концентрации навоза на таких предприятиях. На небольших пространствах образуется большое количество выделений животных, что приводит к загрязнению воздуха, присутствию постоянного неприятного запаха, выделению токсичных газов и, как следствие, снижению качества жизни и росту жалоб от жителей населенных пунктов, находящихся в непосредственной близости от

объекта. Необходимость постоянного контроля присутствия неприятных запахов является лимитирующим фактором для расширения существующих мощностей животноводческих комплексов или создания новых, а также для увеличения их производительности и рентабельности. Анализ тенденций функционирования предприятий и имеющихся наработок показал, что развитие свино- и птицеводства существенно зависит от наличия технологий, позволяющих эффективно устранять неприятные запахи, обусловленные присутствием в окружающем воздухе сероводорода, аммиака и различных летучих органических соединений, и утилизировать отходы производства.

Длительное (~10–12 лет) использование свиного навоза и куриного помета в необработанном состоянии на близлежащих сельхозугодиях в радиусе 50 км приводит к выводу их из сельскохозяйственного оборота из-за засоления и заражения, а транспортировка на более дальние расстояния экономически нецелесообразна. В то же время при соответствующей подготовке свиной навоз и куриный помет могут быть использованы в качестве сырья для производства экологически безопасных органоминеральных удобрений, а жидкая часть навозных стоков после проведения мероприятий по их очистке по ускоренному типу – возвращена в производственный цикл в качестве технической воды, что полностью исключает сброс сточных вод в природные водоемы и внесение их на поля. В связи с этим разработка промышленных технологий, позволяющих осуществлять преобразование трудноперерабатываемых навозов в органоминеральные удобрения с последующим использованием последних в сельском хозяйстве при выращивании технических культур, является актуальной задачей для Республики Беларусь.

В большинстве случаев утилизация навозных стоков происходит следующим образом: навозные стоки самотеком из свинарников поступают в открытые карты, где они отстаиваются в течение 6–12 месяцев в зависимости от сезона, а затем вывозятся как удобрение на близлежащие поля. Такая ситуация приводит к тому, что воды стоков все больше фильтруются вглубь через дно хранилищ, заболачивая близлежащую территорию, а внесение оставшейся твердой фазы вызывает определенные технологические трудности. Это объясняет актуальность проблемы и необходимость применения кардинально иной технологии переработки навозных стоков в органическое удобрение.

Согласно литературным данным для удаления неприятного запаха и обеззараживания навозных стоков применялись различные методы, такие как модифицирование рациона питания, аэрация навоза, озонирование [4–8], однако предложенные технические решения были неудобны и финансово затратны.

Предлагаемая технология обеззараживания навозных стоков химическими реагентами с их последующей переработкой в органоминеральные удобрения не имеет аналогов в Республике Беларусь и позволяет решить проблему неприятного запаха, возникающего в результате деятельности крупных животноводческих комплексов, и избежать вывоза навоза непосредственно на поля, тем самым минимизируя попадание вредных микроорганизмов и бактерий в почву, что в конечном итоге не ухудшит качество почвы и повысит урожайность возделываемых на ней технических культур.

Целью данной работы является разработка технологии безотходной переработки свиного навоза и куриного помета в органические удобрения, включающей асептическую дезодорацию твердой и жидкой фаз (в случае свиного навоза), смешивание навозных стоков с реагентами, сепарирование жидкой и твердой фаз с последующим очищением жидкой фазы до состояния технической воды и использования твердой фазы в качестве удобрения после ее гранулирования, обработки гранул, сушки и упаковки.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования использовали куриный помет Минского филиала ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» и свиной навоз свиного комплекса в д. Глебовичи (Минская обл.). Обработку навозных масс химическими реагентами проводили двумя составами химических реагентов – составом на основе персульфата аммония, формальдегида и надуксусной кислоты и составом, содержащим серную кислоту, гипохлорит натрия, гидроксид натрия и известковое молоко, по методикам, описанным ранее [9, 10].

Результаты и их обсуждение. Ниже приведены технологические схемы процесса глубокой переработки свиного навоза, куриного помета, а также их смешивания с НПК-составляющей с целью получения органоминеральных удобрений, и описание перемещения исходного сырья и получаемых продуктов по производственным узлам.

Предлагаемая технология глубокой переработки свиного навоза включает обработку химическими реагентами с целью удаления неприятного запаха и обеззараживания (уничтожение яиц гельминтов, удаление болезнетворных микробов) и последующее разделение навозных стоков на твердую и жидкую фазы на специальном оборудовании, далее каждая из фаз готовится к повторному использованию.

Свиной навоз из лагуны (поз. 1-1) (рис. 1) при перемешивании посредством использования оборудования для гомогенизации (поз. 1-2) проходит обработку химическими реагентами, поступающими со станций дозирования (поз. 1-3) в количествах, приведенных в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Количество химических реагентов, необходимое для достижения эффекта дезодорации и обезвреживания навозных масс

Table 1. The amounts of chemical reagents required to achieve the effect of deodorization and disinfection of manure

Вид навоза/необходимое количество реагентов для обработки 1 т навозных масс	Состав № 1	Состав № 2
Свиной навоз	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ – 10 кг; CH ₂ O – 3,34 кг; реагент на основе надуксусной кислоты – 3,375 л: уксусная кислота – 1,342 л; H ₃ BO ₃ – 4,7 г; H ₂ O ₂ – 0,335 л; изопропиловый спирт – 0,016 л; вода – остальное	H ₂ SO ₄ (30%-я) – 5 л; NaClO (5,5%-й раствор) – 2,75 кг; NaOH – 1,5 кг; CaO – 1,082 кг (добавляли до достижения нейтральной среды)
Куриный помет	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ – 16 кг; CH ₂ O – 3,84 кг; реагент на основе надуксусной кислоты – 2,8 л: уксусная кислота – 1,15 л; H ₃ BO ₃ – 3,5 г; H ₂ O ₂ – 0,300 л; вода – остальное	H ₂ SO ₄ (30%-я) – 5 л; NaClO (5,5%-й раствор) – 3,0 кг; NaOH – 1,5 кг; CaO – 1,075 кг (добавляли до достижения нейтральной среды)

Ранее было показано [10], что для процесса дезодорации и обеззараживания навозных масс применимы и состав № 1, и состав № 2, при этом наиболее предпочтительным с точки зрения скорости достижения эффекта дезодорации является состав на основе персульфата аммония, надуксусной кислоты и формалина (эффект дезодорации при испытаниях состава на образцах навозных стоков объемом 100 л наступал через 45 мин после обработки), тем не менее обе смеси продемонстрировали хорошую сохраняемость эффекта дезодорации при выдерживании обработанных реагентами навозных стоков в течение достаточно длительного времени (21 сутки для свиного навоза и 30 суток для куриного помета). Указанная продолжительность эффекта дезодорации является достаточной для проведения процесса глубокой переработки навозных масс.

После обработки химическими реагентами посредством насоса с измельчителем (поз. 1-4) свиной навоз подается в приемный бункер (поз. 1-5), после чего на шнековом сепараторе (поз. 1-6) происходит разделение навоза на твердую и жидкую фазы.

Твердая фаза (в случае свиного навоза) посредством шнекового транспортера (поз. 1-8) поступает в смеситель-гранулятор (поз. 1-15), куда одновременно из бункеров (поз. 1-12 (-1, 2, 3)) с помощью конвейера (поз. 1-14) подаются необходимые количества азот-, фосфор- и калийсодержащих компонентов удобрения, микроэлементов и ростовых веществ.

В случае куриного помета разделение навозной массы на твердую и жидкую фазы не требуется, в связи с чем обработку навозной массы химическими реагентами (см. табл. 1) проводят непосредственно после поступления навозной массы из птицеводческого комплекса (рис. 2).

Куриный помет бесподстилочного содержания посредством гидронасоса и трубопровода подается в смеситель-рыхлитель (поз. 1-2), в который одновременно подаются реагенты для обеззараживания и удаления неприятного запаха со станций дозирования (поз. 1-1). Полученная смесь после нахождения в смесителе-рыхлителе (поз. 1-2) посредством конвейера (поз. 1-3) подается на бегуны (измельчитель-растиратель) (поз. 1-4), откуда путем нижней выгрузки посредством

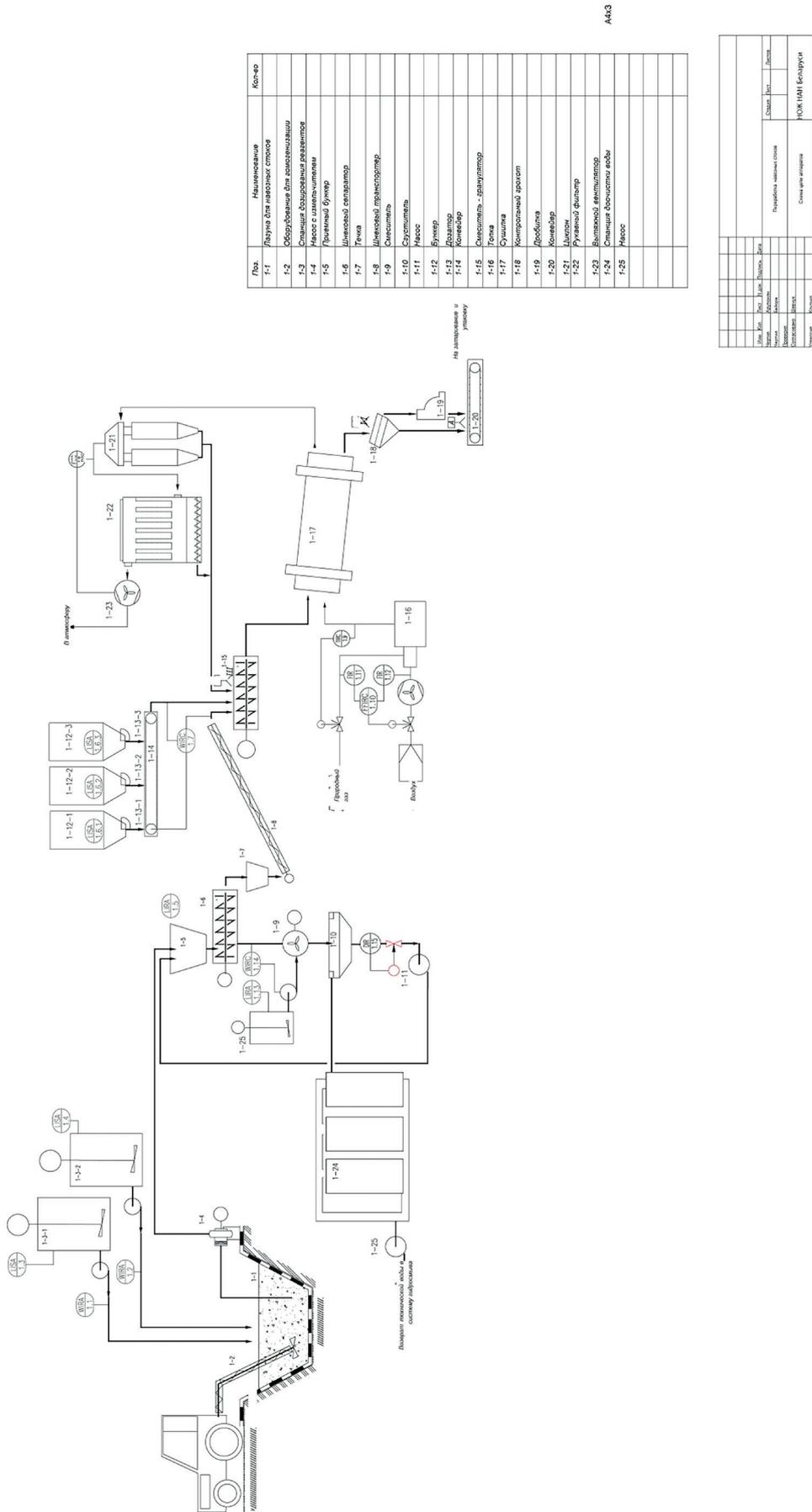


Рис. 1. Технологическая схема процесса получения органоминеральных удобрений посредством глубокой переработки свиного навоза
 Fig. 1. Technological scheme of the process of obtaining organomineral fertilizers by deep processing of pig manure

кодисперсных примесей путем обработки навозных стоков специальным реагентом при последующей коагуляции системы в сгустителе (поз. 1-10), из которого смесь с помощью насоса (поз. 1-11) направляют на станцию доочистки воды, где с целью недопущения накопления избыточных количеств тяжелых металлов жидкую фазу обрабатывают концентрированным раствором реагента для перевода тяжелых металлов в осадок, который может быть в дальнейшем применен в различных технологических процессах, после чего жидкую фазу посредством насоса (поз. 1-25) возвращают в производственный процесс в качестве технической воды, которую можно использовать для смыва навозных стоков с производственных поверхностей свинокомплекса.

С целью достижения более высокого качества переработки свиного навоза, находящегося в лагуне, необходимо использовать оборудование для гомогенизации навозных стоков, позволяющее осуществить эффективное перемешивание по всей глубине лагуны и в последующем достичь требуемой величины эффекта дезодорации и обеззараживания. Наряду с обычными мешалками на базе тракторов в качестве оборудования для гомогенизации навозных стоков может быть использована плавающая мешалка NUHN (дилер в Российской Федерации – компания «Биокомплекс»). В отличие от обычных мешалок-агитаторов она может передвигаться по суше, самостоятельно спускаться в лагуну и выезжать из нее без каких-либо дополнительных приспособлений и посторонней помощи при уклоне от 10 до 25°. Принцип действия мешалки-амфибии заключается в следующем: гидроприводы колес поднимают мешалку-агитатор на полтора метра, после чего она спускается в навозохранилище, в лагуне амфибия трансформируется в плавающий агитатор, управление которым осуществляется оператором дистанционно с берега, перемешивание навоза осуществляют с помощью семи сопел, четыре из которых являются управляющими, по окончании перемешивания и опорожнения лагуны амфибия возвращается в исходную точку. Основные характеристики мешалки-амфибии: производительность – до 2 000 м³/час, возможность эффективного перемешивания твердых частиц на глубине – до 8 м. 1 амфибия заменяет 3–4 помпы на 1 лагуну.

В качестве шнекового сепаратора можно использовать сепаратор, оснащенный планетарным редуктором. К несомненным достоинствам этого сепаратора можно отнести возможность самоочищения (не потребляет дополнительную воду); присутствие функции изменения обратного давления, создаваемого регулятором на выходе, что позволяет получать твердую составляющую с концентрацией сухих веществ 30–40 %; наличие опции автоматического отключения в случае прекращения подачи сырья.

Заключение. В результате проведенных исследований предложена технология глубокой переработки свиного навоза и куриного помета для их последующего применения в качестве органической составляющей комплексных органоминеральных удобрений. Разработанная технология позволяет эффективно осуществить дезодорацию и обеззараживание навозных масс, получить гранулированные органоминеральные удобрения на их основе, что делает их перспективными с точки зрения дальнейшего масштабирования и широкого применения на предприятиях Республики Беларусь и за рубежом.

Список использованных источников

1. Optimization of diallyl sulfide concentration and effect of soil condition on urease inhibition / M. D. Manogaran, N. Mansor, N. M. N. Affendi [et. al.] // Plant, soil and environment. – 2020. – Vol. 66, iss. 2. – P. 81–85. <https://doi.org/10.17221/617/2019-PSE>
2. A review on treatment processes of chicken manure / M. D. Manogaran, R. Shamsuddin, M. H. Mohd Yusoff [et. al.] // Cleaner and Circular bioeconomy. – 2022. – Vol. 2. – Art. 100013. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100013>
3. Meat consumption, health and the environment / H. C. J. Godfray, P. Aveyard, T. Garnett [et. al.] // Science. – 2018. – Vol. 361, iss. 6399. – Art. eaam5324. <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>
4. Sneath, R. W. Continuous aerobic treatment of piggery slurry for odor control scaled up to farm-size unit / R. W. Sneath, C. H. Burton, A. G. Williams // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1992. – Vol. 53. – P. 81–92. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(92\)80075-4](https://doi.org/10.1016/0021-8634(92)80075-4)
5. Emissions of volatile organic compounds originating from UK livestock agriculture / P. J. Hobbs, J. Webb, T. T. Mottram [et.al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2004. – Vol. 84, iss. 11 – P. 1414–1420. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1810>
6. Burton, C. H. Continuous farm scale aeration plant for reducing offensiveness odours from piggery slurry: Control and optimization of the process / C. H. Burton, R. W. Sneath // Journal of Agricultural Engineering research. – 1995. – Vol. 60, iss. 4. – P. 271–279. <https://doi.org/10.1006/jaer.1995.1021>

7. Zhang, Z. A bench-scale aeration study using batch reactors on pig manure stabilization to control odor in post treatment storage / Z. Zhang, J. Zhu, K. J. Park // *Water Research*. – 2006. – Vol. 40, iss. 1. – P. 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.004>

8. The effect of probiotic BioPlus 2B on growth performance, dry matter and nitrogen digestibility and slurry noxious gas emission in growing pigs / Y. Wang, J. H. Cho, Y. J. Chen [et. al.] // *Livestock Science*. – 2009. – Vol. 120, iss. 1–2. – P. 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.04.018>

9. Ратько, А. А. Исследование влияния способа обработки свиных навозных стоков на эмиссию запахообразующих веществ / А. А. Ратько, Ю. В. Дуко, В. В. Шевчук // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2022. – Т. 60, № 2. – С. 234–242. <https://doi.org/10/29235/1817-7204-2022-60-2-234-242>

10. Ратько, А. А. Исследование влияния концентрации дезодорирующих реагентов на эмиссию запахообразующих веществ свиных навозных стоков / А. А. Ратько, Ю. В. Дуко, В. В. Шевчук // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2023. – Т. 61, № 3. – С. 234–242. <https://doi.org/10/29235/1817-7204-2023-61-3-234-242>

References

1. Manogaran M. D., Mansor M., Noor Afendi N. M., Salehuddin N. F. Optimization of diallyl sulfide concentration and effect of soil condition on urease inhibition. *Plant, soil and environment*, 2020, vol. 66, iss. 2, pp. 81–85. <https://doi.org/10.17221/617/2019-PSE>

2. Manogaran M. D., Shamsuddin R., Mohd Yusoff M. H., Jay M., Siyal A. A. A review on treatment processes of chicken manure. *Cleaner and Circular bioeconomy*, 2022, vol. 2, art. 100013. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100013>

3. Godfray H. C. J., Aveyard P., Garnett T., Hall J. W., Key T. J., Lartmer J. [et. al.] Meat consumption, health and the environment, *Science*, 2018, Vol. 361, iss. 6399, eaam5324. <https://doi.org/https://doi.org/10.1126/science.aam5324>

4. Sneath R. W., Burton C. H., Williams A. G. Continuous aerobic treatment of piggery slurry for odor control scaled up to farm-size unit. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1992, vol. 53, pp. 81–92. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(92\)80075-4](https://doi.org/10.1016/0021-8634(92)80075-4)

5. Hobbs P. J., Webb J., Mottram T. T., Grant B., Misselbrook T. M. Emissions of volatile organic compounds originating from UK livestock agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2004, vol. 84, iss. 11, pp. 1414–1420. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1810>

6. Burton C. H., Sneath R. W. Continuous farm scale aeration plant for reducing offensiveness odours from piggery slurry: Control and optimization of the process. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1995, vol. 60, iss. 4, pp. 271–279. <https://doi.org/10.1006/jaer.1995.1021>

7. Zhang Z. J., Zhu J., Park K. J. A bench-scale aeration study using batch reactors on pig manure stabilization to control odor in post treatment storage. *Water Research*, 2006, vol. 40, iss. 1, pp. 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.004>

8. Wang Y., Cho J. H., Chen J. S., Yoo J. S., Huang Y., Kim H. J., Kim I. H. The effect of probiotic BioPlus 2B on growth performance, dry matter and nitrogen digestibility and slurry noxious gas emission in growing pigs, *Livestock Science*, 2009, vol. 120, iss. 1–2, pp. 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.04.018>

9. Ratko A. A., Duko Yu. V., Shevchuk V. V. Study of the effect of pig manure treatment method on emission of odor-forming substances. *Vestsi Natsyanal'nay akademii navuk Belarusi. Serya agrarnykh navuk = Proceedings of the National academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2022, vol. 60, no. 2, pp. 234–242 (in Russian). <https://doi.org/10/29235/1817-7204-2022-60-2-234-242>

10. Ratko A. A., Duko Yu. V., Shevchuk V. V. Effect of concentration of deodorizing reagents on the emission of odor-forming substances in pork manure. *Vestsi Natsyanal'nay akademii navuk Belarusi. Serya agrarnykh navuk = Proceedings of the National academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2023, vol. 61, no. 3, 234–242. <https://doi.org/10/29235/1817-7204-2023-61-3-234-242>.

Информация об авторах

Ратько Александр Анатольевич – кандидат химических наук, заместитель директора. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: aratko@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-5741-4381>

Шевчук Вячеслав Владимирович – доктор химических наук, член-корреспондент НАН Беларуси, заведующий лабораторией. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shevchukslava@rambler.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0516-1765>

Крутько Николай Павлович – доктор химических наук, профессор, академик, заведующий отделом. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: ionch@igic.bas-net.by

Information about the authors

Rat'ko Alexander A. – Ph. D. (Chemistry), Deputy Director. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aratko@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-5741-4381>

Shevchuk Vyacheslav V. – D. Sc. (Chemistry), Correspondent Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Head of the Laboratory. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shevchukslava@rambler.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0516-1765>

Krut'ko Nikolay P. – D. Sc. (Chemistry), Professor, Academician, Head of the Department. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ionch@igic.bas-net.by