

Научная статья

УДК 620.95+631.862

EDN TELBNV

DOI: 10.22450/19996837\_2022\_2\_124

**Регенерация органических отходов  
свиноводческих предприятий мобильной установкой  
как способ вовлечения потенциальных отходов в экономику замкнутого цикла**

**Анатолий Михайлович Бондаренко<sup>1</sup>, Людмила Сергеевна Качанова<sup>2</sup>,  
Алексей Владимирович Барышников<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, Ростовская область, Зерноград, Россия

<sup>2</sup> Российская таможенная академия, Московская область, Люберцы, Россия

<sup>3</sup> Донской государственный технический университет, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>1</sup> [bondanmih@rambler.ru](mailto:bondanmih@rambler.ru), <sup>2</sup> [l.kachanova@customs-academy.ru](mailto:l.kachanova@customs-academy.ru), <sup>3</sup> [aleksey080283@yandex.ru](mailto:aleksey080283@yandex.ru)

**Аннотация.** В настоящее время до 50 % свинины производится на малых, средних и крупных свиноводческих фермах с поголовьем от одной до двенадцати тысяч свиней. Производимый на данных предприятиях жидкий навоз представляет экологическую угрозу в местах его накопления и хранения, так как отсутствуют эффективные технологии его переработки в органические удобрения. Целью исследования является повышение эффективности переработки органических отходов свиноводческих ферм при разработке мобильной установки для вовлечения потенциальных отходов в экономику замкнутого цикла. Анализ технологий и технических средств переработки жидкого навоза показал, что наиболее перспективным выступает разделение навоза на фракции мобильной установкой. Основным элементом мобильной установки является щёточный шнек, а также вспомогательное оборудование, установленное на тракторной тележке 2ПТС-4. Представлены кинематическая схема мобильной установки, её цикл работы и циклограмма технологического процесса разделения жидкого навоза на твёрдую и жидкую фракции. Установлено, что производительность мобильной установки зависит от производительности щёточного шнека, объёмов перерабатываемого навоза, количества навозоприёмников и расстояния между ними. Экспериментально рассчитано, что при производительности щёточного шнека 40 м<sup>3</sup>/ч время цикла переработки навоза изменяется от 45 минут (ферма на одну тысячу голов) до 551 минут (ферма на 12 000 голов). При производительности щёточного шнека 30 м<sup>3</sup>/ч эти показатели возрастают на 28,4 %. Суточные выходы производимой твёрдой фракции для указанного поголовья составляют от 2,88 до 34,51 тонны, жидкой фракции – от 24,12 до 289,49 тонн. Указанные объёмы являются исходным продуктом для производства твёрдых и жидких органических удобрений.

**Ключевые слова:** органические отходы, жидкий навоз, мобильная установка, твёрдая и жидкая фракции, щёточный шнек, кинематическая схема, технологический процесс, экономика замкнутого цикла

**Для цитирования:** Бондаренко А. М., Качанова Л. С., Барышников А. В. Регенерация органических отходов свиноводческих предприятий мобильной установкой как способ вовлечения потенциальных отходов в экономику замкнутого цикла // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Вып. 2 (62). С. 124–131. doi: 10.22450/19996837\_2022\_2\_124.

Original article

## Regeneration of organic waste of pig-breeding enterprises with a mobile unit as a way to involve potential waste in the circular economy

Anatolii M. Bondarenko<sup>1</sup>, Lyudmila S. Kachanova<sup>2</sup>, Aleksei V. Baryshnikov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University, Rostov region, Zernograd, Russia

<sup>2</sup> Russian Customs Academy, Moscow region, Lyubertsy, Russia

<sup>3</sup> Don State Technical University, Rostov region, Rostov-on-Don, Russia

<sup>1</sup> [bondanmih@rambler.ru](mailto:bondanmih@rambler.ru), <sup>2</sup> [l.kachanova@customs-academy.ru](mailto:l.kachanova@customs-academy.ru), <sup>3</sup> [aleksey080283@yandex.ru](mailto:aleksey080283@yandex.ru)

**Abstract.** Currently, up to 50 % of pork is produced on small, medium and large pig farms with a number of pigs from 1,000 to 12,000. The liquid manure produced at these enterprises poses an environmental threat in the places of its accumulation and storage, since there are no effective technologies for its processing into organic fertilizers. The aim of the study is to increase the efficiency of processing organic waste from pig farms while developing a mobile unit to involve potential waste in circular economy. The analysis of technologies and technical means of processing liquid manure has shown that manure separation into fractions by a mobile unit is the most promising. The main element of the mobile unit is a brush auger, as well as the auxiliary equipment installed on 2PTS-4 tractor trolley. The kinematic scheme of the mobile unit, its cycle of operation and the cyclogram of the technological process of separation of liquid manure into solid and liquid fractions are presented. It has been established that the performance of the mobile unit depends on the performance of the brush auger, the volume of processed manure, the number of manure collectors and the distance between them. It has been experimentally established that with a brush auger capacity of 40 m<sup>3</sup>/h, the manure processing cycle time varies from 45 minutes (a farm for 1,000 heads) to 551 minutes (a farm for 12,000 heads). With a brush auger capacity of 30 m<sup>3</sup>/h, these indicators increase by 28.4 %. The daily yields of the produced solid fraction for the indicated livestock range from 2.88 to 34.51 tons, the liquid fraction – from 24.12 to 289.49 tons. The indicated volumes are the initial product for the production of solid and liquid organic fertilizers.

**Keywords:** organic waste, liquid manure, mobile unit, solid and liquid fractions, brush auger, kinematic scheme, technological process, circular economy

**For citation:** Bondarenko A. M., Kachanova L. S., Baryshnikov A. V. Regeneraciya organicheskikh othodov svinovodcheskikh predpriyatij mobil'noj ustanovkoj kak sposob вовлечения potencial'nyh othodov v ekonomiku zamknutogo cikla [Regeneration of organic waste of pig-breeding enterprises with a mobile unit as a way to involve potential waste in the circular economy]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*. – *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022; 2 (62): 124–131 (in Russ.). doi: 10.22450/19996837\_2022\_2\_124.

**Введение.** Ежегодно в России накапливается более 8 млрд. тонн отходов производства и 60 млн. тонн твёрдых бытовых отходов. Переход к экономике замкнутого цикла, при которой сокращается ущерб окружающей среде и повышается ресурсосбережение, позволит наращивать объёмы вовлекаемых в переработку органических отходов с целью их использования в рекультивации земель. Принцип линейной экономики «производство – использование – утилизация» доказал свою несостоятельность. На смену утилизации должны прийти переработка, регенерация и повторное использование вторичных ре-

сурсов в производстве. Крайне актуальна переработка и регенерация органических отходов для аграрного сектора экономики, стоящего на страже продовольственной независимости и экономической безопасности государства.

Основными поставщиками мяса, молока и яиц для населения России являются животноводческие и птицеводческие предприятия. Повышение производства продукции животноводства связано с увеличением поголовья животных, что, в свою очередь, предопределяет возрастание объёмов производимого навоза. Учитывая, что свиноводство является самой

скороспелой отраслью животноводства, основное внимание уделяется производству свинины на свиноводческих фермах до 12 000 голов. Технологии выращивания свиней предусматривают производство жидкого, полужидкого и подстилочного навоза.

Вопросам переработки жидкого навоза животноводческих ферм за последние десятилетия уделяется достаточно внимания со стороны государственных, научных и коммерческих организаций. Однако, учитывая специфические физико-механические свойства жидкого навоза, сегодня отсутствуют эффективные технические решения по его переработке. В методических рекомендациях по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помёта (РД–АПК 1.10.15.02-17), утверждённых Министерством сельского хозяйства РФ 23 мая 2017 г., а также в других источниках [1, 2] указано, что это связано, в первую очередь, с зональными особенностями выращивания свинины, а также с возрастающими экологическими требованиями к местам накопления и хранения навоза [6, 7].

Проведённые исследования носят, как правило, разрозненный характер без учёта зональных особенностей и не предусматривают управление технологическими процессами.

В последние десятилетия учёные в Российской Федерации и за рубежом ведут исследования по переработке жидкого навоза с использованием мобильных агрегатов. Фирмой «Sudstal» (Германия) разработана мобильная установка для сепарации навоза на шасси прицепа. Установка снабжена барабанным сепаратором, насосом и гомогенизатором [2, 3]. Мобильный сепаратор жидкого навоза предлагается фирмой «Versorgung Schwaben AG» (Германия). Установка снабжена перфорированным барабаном с отжимными вальцами [4, 5].

В России ООО «Алькар» выпускает шнековый сепаратор навоза SEPRА, рассчитанный на переработку небольших объёмов жидкого навоза. Компания «Биокомплекс» предлагает мобильный сепаратор навоза на двухосном тракторном прицепе 2ПТС-4. Указанные технические средства имеют сложные конструкции и

не обеспечивают требуемых качественных показателей процесса, в первую очередь, по эффективности разделения.

**Целью исследования явилось повышение эффективности переработки органических отходов свиноводческих ферм с использованием мобильной установки для вовлечения потенциальных отходов в экономику замкнутого цикла.**

**Материалы и методы исследования.** Анализ исследований технических средств для разделения на фракции жидкого свиного навоза показал, что наиболее эффективными являются средства, органично вписывающиеся в технологический процесс производства свинины и обеспечивающие требуемые качественные показатели процесса разделения.

Предлагаемый мобильный агрегат включает следующее оборудование. На платформе тракторного прицепа устанавливаются щёточный шнек для разделения навоза на твёрдую и жидкую фракции, и фекальный насос с системами шлангов, регулирующих задвижек и трубопроводов. Щёточный шнек представляет собой шнек, установленный в перфорированном желобе с дожимным устройством [1, 8]. Шнек установлен на платформе с возможностью перемещения в вертикальной плоскости до 30° и в горизонтальной плоскости до 90°. Привод шнека осуществляется от гидромотора.

В передней части платформы установлен горизонтальный фекальный насос марки СМ 150-125-315-6. Привод насоса осуществляется от вала отбора мощности (ВОМ) трактора, работающего со скоростью 960 оборотов в минуту. В комплекте насоса состоят шланг для выгрузки жидкого навоза из приёмного резервуара, система трубопроводов и задвижек, обеспечивающих подачу навоза на щёточный шнек и последующую выгрузку жидкой фракции (ЖФ) через трубопроводы в прифермскую лагуну.

Основным методом исследования принят системный подход и основанный на нём системный анализ.

**Результаты исследования.** Технологический процесс переработки жидкого свиного навоза мобильной установкой заключается в следующем. Тракторный агрегат подъезжает к навозоприёмнику

и после соединения шлангов включается ВОМ трактора и гидромотор привода щётчного шнека.

Подача жидкого навоза осуществляется посредством фекального насоса через систему шлангов в нижнюю часть щётчного шнека. В процессе перемещения навозной массы шнеком происходит разделение навоза на фракции. Жидкая фракция через поддон самотёком поступает в секцию приёмного резервуара, а твёрдая фракция (ТФ) выгружается в верхней части шнека и подаётся в тракторную тележку или в специальный контейнер. После окончания процесса разделения шланги переподключаются в секцию с ЖФ, соединяются с прифермским стационарным трубопроводом и посредством фекального насоса с мобильной установки подаются к месту хранения. После выгрузки ЖФ, мо-

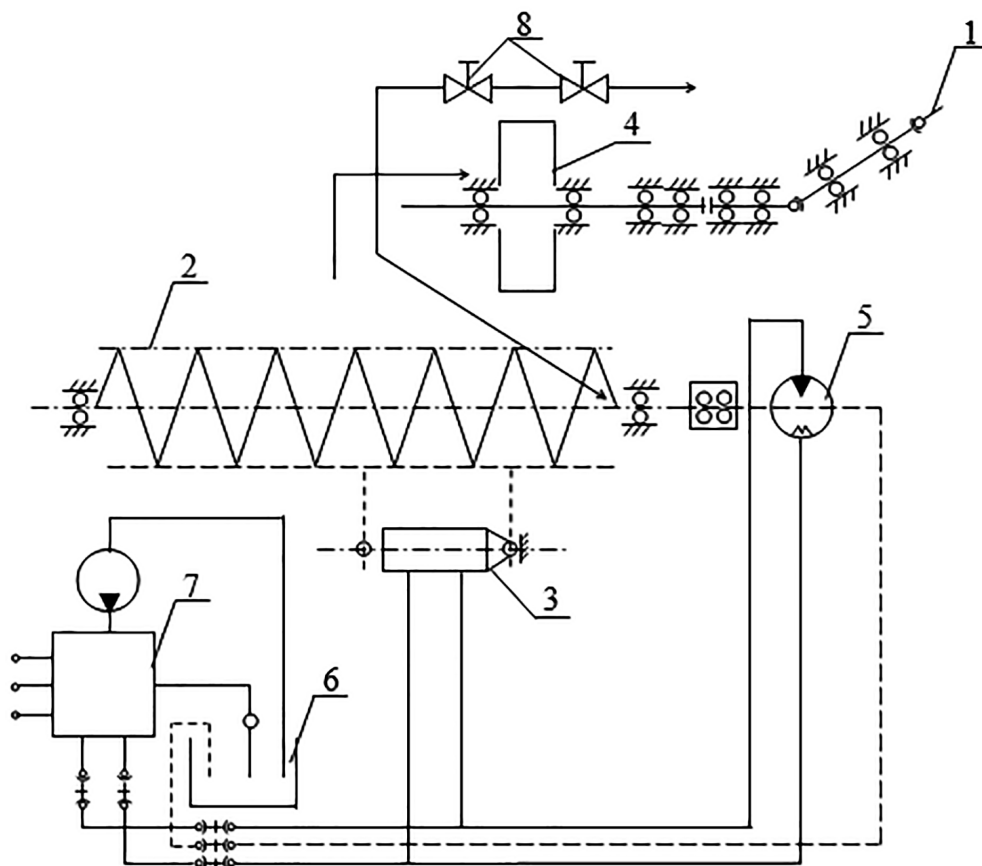
бильный агрегат готовится в транспортное положение, подъезжает к другому приёмному резервуару, и процесс переработки повторяется.

Кинематическая схема приводов рабочих органов мобильного агрегата представлена на рисунке 1.

Экспериментально установлено, что производительность щётчного шнека на разделении жидкого навоза достигает 40–45 м<sup>3</sup>/ч. Цикл работы мобильной установки представлен на рисунке 2.

Цикл заключается в поочередной переработке ЖН, накапливаемого в навозоприемниках  $H_1, H_2, H_3, \dots, H_i$  путём переезда на расстояния  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_i$

Тогда производительность мобильной установки зависит от производительности щётчного шнека ( $Q_{\text{шн}}$ ), объёма перерабатываемого навоза ( $V_n$ ), количества



1 – вал карданный; 2 – щётчный шнек; 3 – гидроцилиндр подъёма щётчного шнека; 4 – фекальный насос; 5 – гидромотор привода щётчного шнека; 6 – масляный бак; 7 – гидрораспределитель; 8 – регулировочные краны подачи жидкого навоза и ЖФ

**Рисунок 1 – Кинематическая схема приводов рабочих органов мобильного агрегата**

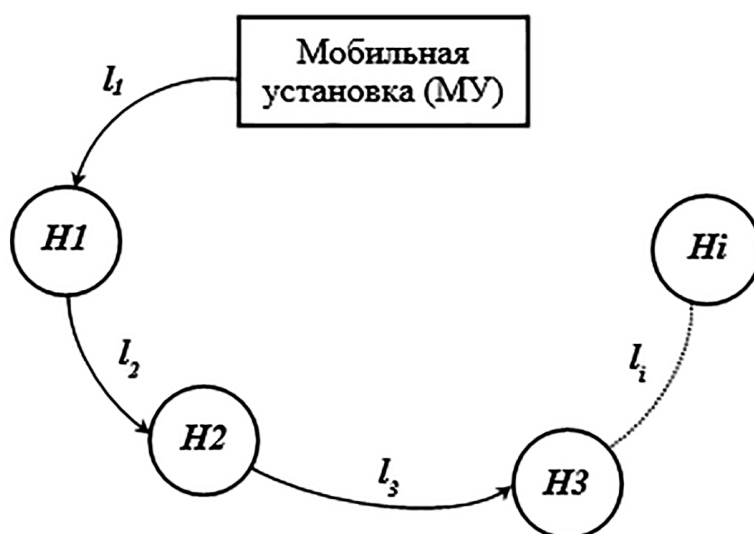


Рисунок 2 – Цикл работы мобильной установки

навозоприёмников ( $H$ ), расстояния перевозов ( $l$ ), то есть:  $Q_{му} = f(Q_{щш}; V_n; H; l)$ .

Время цикла ( $T_{ц}$ ) определяется по формуле (1):

$$T_{ц} = T_n + T_{под} + T_{пер} + T_{рас} \quad (1)$$

где  $T_n$  – время переезда на расстояние  $l$ , мин.;

$T_{под}$  – время подключения коммуникаций, мин.;

$T_{пер}$  – время переработки жидкого навоза щётчным шнеком, мин.;

$T_{рас}$  – время рассоединения коммуникаций, мин.

$T_n$  зависит от количества переездов между навозоприёмниками, которое определяется показателем  $(H - 1)$ .

Принимаем:

$$1) T_{под} = T_{рас};$$

$$2) T_{пер} = H \cdot Q_{щш} / V_n.$$

Тогда время цикла можно установить из выражения (2):

$$T_{ц} = (H-1) \cdot T_n + H \cdot (T_{под} + T_{рас}) + H \cdot Q_{щш} / V_n \quad (2)$$

Приняв допущение, что объём одного приёмного резервуара равен  $27 \text{ м}^3$  и

расстояние между резервуарами составляет  $50 \text{ м}$ , можем упростить выражение (2):

1) для производительности щётчного шнека  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$  время цикла определяем по формуле (3):

$$T_{ц} = (H - 1) + 58 \cdot H \quad (3)$$

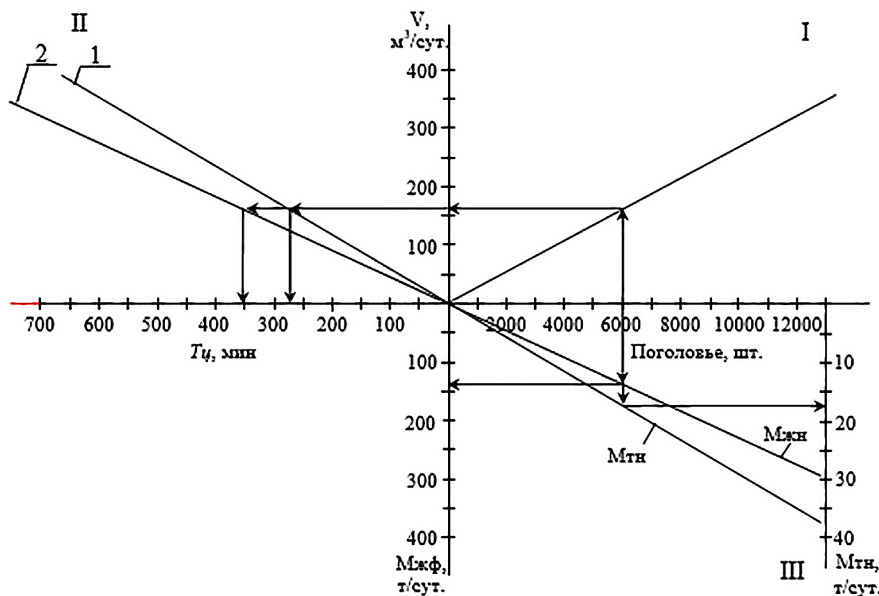
2) для производительности щётчного шнека  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$  время цикла определяем по формуле (4):

$$T_{ц} = (H - 1) + 45 \cdot H \quad (4)$$

На основе полученных формул (3) и (4) построена циклограмма переработки жидкого навоза свиноводческих ферм поголовьем от  $1\ 000$  до  $12\ 000$  свиней мобильной установкой (рис. 3).

Из данных, представленных на рисунке 3, видно, что с увеличением поголовья свиней прямо пропорционально возрастают объёмы производимого жидкого навоза (квадрант I).

На свиноферме с поголовьем в одну тысячу свиней суточный объём производимого навоза равен  $27 \text{ м}^3$ , с поголовьем в  $12\ 000$  свиней –  $324 \text{ м}^3$ . Время цикла переработки указанных объёмов жидкого навоза изменяется от  $45$  до  $551$  мину-



**Рисунок 3 – Циклограмма переработки жидкого навоза свиноводческих ферм мобильной установкой**

ты при производительности щётчного шнека 40 м³/ч, и от 58 до 707 минут при производительности щётчного шнека 30 м³/ч (квадрант II, прямые 1 и 2).

При этом для указанного поголовья ферм можно определить суточные выходы получаемой твёрдой ( $M_{тф}$ ) и жидкой ( $M_{жф}$ ) фракций (квадрант III). Для ферм от одной до 12 тысяч голов, выход твёрдой фракции изменяется от 2,88 до 34,52 тонн в сутки, выход жидкой фракции – от 24,12 до 289,49 тонн в сутки. Применительно к ферме на шесть тысяч голов, выход жидкого навоза составляет 162 м³ в сутки.

При производительности щётчного шнека 40 м³/ч, время цикла его переработки составляет 275 минут (4,58 часа), при производительности 30 м³/ч – оно возрастает до 353 минут (5,88 часа). Следовательно, время цикла переработки жидкого навоза при производительности щётчного шнека 30 м³/ч увеличивается на 28,4 %.

Для указанного поголовья масса твёрдой фракции составляет 17,25 тонн в сутки, масса жидкой фракции – 144,75 тонн в сут-

ки. Суммарный объём перерабатываемого жидкого навоза достигает 162 м³ в сутки.

Твёрдая и жидкая фракции являются исходными продуктами для производства твёрдых и жидких органических удобрений.

**Вывод.** Производимые на свиноводческих предприятиях органические отходы являются источником экологической опасности в местах их накопления и хранения. Причиной этому выступает отсутствие эффективных технологий их переработки в высококачественные органические удобрения. Повышение эффективности переработки органических отходов свиноводческих ферм реализуется на основе применения мобильной установки для вовлечения потенциальных отходов в экономику замкнутого цикла.

Основными элементами предлагаемой установки являются щётчный шнек для разделения навоза на фракции; фекальный насос для подачи жидкого навоза и отвода жидкой фракции; системы маслопроводов и шлангов с регулировочными задвижками, обеспечивающими техноло-

гический процесс. Всё оборудование установлено на тракторном прицепе 2ПТС-4.

**В ходе исследования определены циклы работы мобильной установки и операционное время, необходимое для обеспечения технологического процесса.**

*В зависимости от производительности щётчного шнека (до 40 м<sup>3</sup>/ч), время цикла переработки жидкого навоза для фермы на одну тысячу голов составляет 45 минут, для фермы на 12 тысяч голов – 551 минуту.*

*Для указанного поголовья выход твёрдой фракции навоза изменяется от 2,88 до 34,51 тонн в сутки (от 1 037 до*

*12 424 тонн в год). Выход жидкой фракции изменяется от 24,12 до 289,49 тонн в сутки (от 763 до 104 216 тонн в год).*

Регенерация органических отходов свиноводческих предприятий в органические удобрения позволит вернуть в производственный цикл выращивания сельскохозяйственных культур питательные вещества, содержащиеся в получаемых удобрениях, способствуя росту урожайности и повышению почвенного плодородия. Использование органических удобрений сократит негативное влияние органических отходов на окружающую среду, повысит экономическую эффективность отраслей растениеводства и животноводства аграрного сектора экономики страны.

### Список источников

1. Барышников А. В. Результаты экспериментальных исследований мобильной установки для разделения жидкого навоза на фракции // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 11 (205). С. 98–103.
2. Бондаренко А. М., Забродин В. П., Курочкин В. Н. Механизация процессов переработки навоза животноводческих предприятий в высококачественные органические удобрения : монография. Зерноград : Азово-Черноморский инженерный институт, 2010. 184 с.
3. Звягинцев Д. Г. Современные проблемы экологии почвенных микроорганизмов // Микробиология окружающей среды : сб. ст. Алма-Ата : Наука, 1980. С. 65–68.
4. Капустин В. П. Обоснование способов и средств переработки бесподстилочного навоза : монография. Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2002. 80 с.
5. Коваленко В. П. Механизация обработки бесподстилочного навоза : монография. М. : Колос, 1984. 159 с.
6. Справочная книга по производству и применению органических удобрений / А. И. Еськов, М. Н. Новиков, С. М. Лукин [и др.]. Владимир : Российская академия сельскохозяйственных наук, 2001. 496 с.
7. Управление потоками азота с учётом полного азотного цикла // Рекомендации Целевой группы по химически активному азоту Европейской экологической комиссии Организации объединённых наций. Эдинбург, 2014. С. 8–12.
8. Technologies for the production and application of organic fertilizers in agriculture / A. M. Bondarenko, L. S. Kachanova, A. V. Barishnikov, S. A. Novikov // The challenge of sustainability in agricultural systems. Springer International Publishing, 2021, P. 850–860.

### References

1. Baryshnikov A. V. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy mobil'noi ustanovki dlya razdeleniya zhidkogo navoza na fraktsii [Results of experimental studies of a mobile plant for separating liquid manure into fractions], *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2021; 11 (205): 98–103. (in Russ.).
2. Bondarenko A. M., Zabrodin V. P., Kurochkin V. N. *Mekhanizatsiya protsessov pererabotki navoza zhivotnovodcheskikh predpriyatii v vysokokachestvennye organicheskie udobreniya: monografiya* [Mechanization of the processing of animal manure into high-quality organic fertilizers: monograph], Zernograd, Azovo-Chernomorskij inzhenernyj institut, 2010, 184 p. (in Russ.).
3. Zvyagintsev D. G. *Sovremennye problemy ekologii pochvennykh mikroorganizmov* [Modern problems of ecology of soil microorganisms]. Proceedings from *Mikrobiologiya*

*okruzhayushchei sredy – Mikrobiologiya okruzhayushchej sredy.* (PP. 65–68), Alma-Ata, Nauka, 1980 (in Russ.).

4. Kapustin V. P. *Obosnovanie sposobov i sredstv pererabotki bespodstilochnogo navoza: monografiya [Substantiation of methods and means of processing bedless manure: monograph]*, Tambov, Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2002, 80 p. (in Russ.).

5. Kovalenko V. P. *Mekhanizatsiya obrabotki bespodstilochnogo navoza: monografiya [Mechanization of liquid manure processing: monograph]*, Moskva, Kolos, 1984, 159 p. (in Russ.).

6. Es'kov A. I., Novikov M. N., Lukin S. M., Tarasov S. I., Ryabkov V. V., Kasatkov V. A. [et al.] *Spravochnaya kniga po proizvodstvu i primeneniyu organicheskikh udobrenii [Reference book on the production and use of organic fertilizers]*, Vladimir, Rossijskaya akademiya sel'skohozyajstvennykh nauk, 2001, 496 p. (in Russ.).

7. *Upravlenie potokami azota s uchetom polnogo azotnogo tsikla [Management of nitrogen flows considering the complete nitrogen cycle]*. In.: Rekomendacii Celevoj grupy po himicheski aktivnomu azotu Evropejskoj ekologicheskoj komissii Organizacii ob'edinyonnykh nacij [Recommendations of the Task Force on Reactive Nitrogen of the United Nations Environmental Commission for Europe], Edinburg, 2014, P. 8–12 (in Russ.).

8. Bondarenko A. M., Kachanova L. S., Barishnikov A. V., Novikov S. A. Technologies for the production and application of organic fertilizers in agriculture. In.: The challenge of sustainability in agricultural systems. Springer International Publishing, 2021, P. 850–860.

© Бондаренко А. М., Качанова Л. С., Барышников А. В., 2022

Статья поступила в редакцию 01.04.2022; одобрена после рецензирования 06.05.2022; принята к публикации 24.05.2022.

The article was submitted 01.04.2022; approved after reviewing 06.05.2022; accepted for publication 24.05.2022.

#### **Информация об авторах**

**Бондаренко Анатолий Михайлович**, доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, [bondanmih@rambler.ru](mailto:bondanmih@rambler.ru);

**Качанова Людмила Сергеевна**, доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, Российская таможенная академия, [l.kachanova@customs-academy.ru](mailto:l.kachanova@customs-academy.ru);

**Барышников Алексей Владимирович**, старший преподаватель, подполковник, Донской государственный технический университет, [aleksey080283@yandex.ru](mailto:aleksey080283@yandex.ru)

#### **Information about authors**

**Anatolii M. Bondarenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University, [bondanmih@rambler.ru](mailto:bondanmih@rambler.ru);

**Lyudmila S. Kachanova**, Doctor of Economic Sciences, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Customs Academy, [l.kachanova@customs-academy.ru](mailto:l.kachanova@customs-academy.ru);

**Aleksei V. Baryshnikov**, Senior Lecturer, Lt. Colonel, Don State Technical University, [aleksey080283@yandex.ru](mailto:aleksey080283@yandex.ru)