


ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 504.06

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-5-47-51

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ СОКРАЩЕНИЯ
И УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗОСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ ДОИЛЬНОГО ЗАЛА****МИРОНОВА ТАТЬЯНА ЮРЬЕВНА** , канд. техн. наук, научный сотрудникcow-sznii@yandex.ru ; <http://orcid.org/0000-0001-6959-049X>**МИРОНОВ ВЯЧЕСЛАВ НИКОЛАЕВИЧ**, канд. техн. наукcow-sznii@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-5393-1146>

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; 196625, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское шоссе, 3

Аннотация. Снижение выбросов в атмосферу парниковых газов, образующихся в животноводстве, является актуальной задачей. Одним из ее решений является сокращение количества органических отходов, а также технологических операций по их транспортировке и внесению, что способствует меньшему потреблению топлива сельскохозяйственными машинами. Сокращение количества навозосодержащих стоков доильного зала и их утилизация позволят уменьшить количество выбросов углекислого газа. С целью оценки экологического эффекта от сокращения количества навозосодержащих стоков доильного зала и их утилизации проведено сравнение количества выбросов CO₂ в технологии, предусматривающей утилизацию навозосодержащих стоков доильного зала в теплице и внесение навоза на поля, и базовой технологии, в которой смесь навозосодержащих стоков и навоза вносится на поля. Расчет количества выбросов углекислого газа на 1 т молока осуществлялся при использовании математической модели оптимизации. В результате решения оптимизационной задачи определено, что в зависимости от варианта для фермы с поголовьем 600...650 дойных коров количество выбросов CO₂ может отличаться на 4,9%. На основании нормативных данных и результатов теоретических исследований для фермы на 640 дойных коров с удельным выходом стоков от одной коровы 7 л/сут. выполнен расчет количества выбросов углекислого газа от агрегатов при утилизации навозосодержащих стоков доильного зала в теплице и внесении навоза на поля. Плановая продуктивность коров принята за 25 кг/сут. Внесение навоза на поля для рассматриваемых вариантов предусматривалось агрегатом Т-150К + МЖТ-23, который, транспортируя жидкие органические удобрения на расстояние 7 км, имеет производительность 22,9 т/ч. Установлено, что технология с утилизацией навозосодержащих стоков в теплице по сравнению с базовой технологией позволит снизить количество выбросов углекислого газа от агрегатов, транспортирующих органические удобрения на поля, на 11,1%.



Ключевые слова: экологический эффект, углекислый газ, выбросы, навоз, навозосодержащие стоки, теплица, молочная ферма, доильный зал

Формат цитирования: Миронова Т.Ю., Миронов В.Н. Экологический эффект от сокращения и утилизации навозосодержащих стоков доильного зала // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 5. С. 47-51. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-47-51>.

© Миронова Т.Ю., Миронов В.Н., 2022



ORIGINAL PAPER

**ENVIRONMENTAL EFFECT OF THE REDUCTION AND USE
OF MANURE-BEARING WASTEWATER FROM THE MILKING PARLOUR****TATIANA Yu. MIRONOVA** , PhD (Eng), Research Engineercow-sznii@yandex.ru ; <http://orcid.org/0000-0001-6959-049X>**VIACHESLAV N. MIRONOV**, PhD (Eng)cow-sznii@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-5393-1146>

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoe Shosse, Tyarlevo, Saint Petersburg, 196625, Russian Federation

Abstract. The abatement of greenhouse gas emissions from livestock production is an important task of today. One solution is to reduce the generated amount of organic waste and the number of operations required for its transportation and application as they contribute to lower fuel consumption. A mitigation measure of carbon dioxide emissions is to cut down the quantity

of manure-bearing wastewater from milking parlors and use it most effectively. The study aimed to assess the environmental effect of this measure. The carbon dioxide emissions were assessed by comparing two technologies. Technology 1 included the use of milking parlor wastewater in a greenhouse and the field application of manure. Technology 2, the basic one, featured the field introduction of milking parlor wastewater mixed with manure. A mathematical optimization model was applied to calculate the carbon dioxide emissions per ton of milk. The optimization problem solving showed that these emissions from the farm with 600–650 milking cows may differ by 4.9% depending on the technology option. The normative data and theoretical research results were used to calculate the carbon dioxide emissions from the fertilizer application units for a farm with 640 milking cows and a specific wastewater output of 7 l/cow/day. The planned milk productivity was 25 kg/cow/day. The MZHT-23 fertilizer application machine aggregated by T-150K tractor was employed. This machine unit transported the liquid organic fertilizers over a distance of 7 km and had a capacity of 22.9 t/h. The study established that the technology with manure management in the greenhouse (Technology 1) will reduce carbon dioxide emissions from the units transporting organic fertilizers to the fields by 11.1%, as compared with the basic technology.

Keywords: environmental effect, carbon dioxide, emissions, manure, manure-bearing wastewater, greenhouse, dairy farm, milking parlour

For citation: Mironova T.Yu., Mironov V.N. Environmental effect of the reduction and use of manure-bearing wastewater from the milking parlour. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(5): 47-51. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-47-51>.

Введение. По расчетам международного исследовательского проекта по мониторингу выбросов парниковых газов, в 2021 г. по сравнению с 2020 г., выбросы углекислого газа во всем мире увеличились на 4,9% и составили 36,7 млрд т¹. Несмотря на принимаемые в рамках Рамочной конвенции ООН по изменению климата меры по ограничению выбросов парниковых газов рост их концентрации продолжается².

Сельскохозяйственная деятельность играет значительную роль в выбросах парниковых газов и глобальном изменении климата. По данным Росстата, в России за 2019 г. объём выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве составил 114,2 млн т CO₂-экв. Среди совокупных выбросов парниковых газов 79,2% приходится на CO₂. Выбросы углекислого газа за последнее десятилетие увеличились на 4,1%.

При производстве молока выбросы углекислого газа связаны с технологическими процессами сбора, хранения, переработки и транспортировки навозосодержащих отходов, производством кормов. Большинство животноводческих хозяйств навозосодержащие стоки доильного зала (НСДЗ) смешивают с навозом, после чего смесь поступает в навозохранилище для дальнейшего её хранения (не менее 6 мес.) и внесения на поля в качестве органического удобрения.

Снижение выбросов в атмосферу вредных веществ, образующихся в животноводстве, является актуальной задачей, подразумевающей различные пути её решения: от разработки рационов животных [1, 2] и способов очистки вентиляционного воздуха [3, 4] до управления технологическим процессом навозоудаления [5-8] и использования вентиляционных выбросов животноводческих помещений в культивационных сооружениях для подкормки цветочных культур [9].

В рамках содействия Парижскому соглашению одним из способов уменьшения выбросов парникового газа

CO₂ может быть сокращение количества органических отходов, а также технологических операций по их транспортировке и внесению, что способствует меньшему потреблению топлива сельскохозяйственными машинами.

В ранее опубликованных материалах [10] показано, что оптимизация, основанная на решении компромиссной задачи по уравнениям регрессии [11], позволяет подобрать технологические параметры фермы и доильного зала с точки зрения минимального выхода навозосодержащих стоков доильных залов. Уменьшение их количества и последующая круглогодичная утилизация в теплице [12-13] способствуют повышению экологической безопасности молочных ферм КРС и сокращению выбросов парникового газа CO₂ от агрегатов для транспортировки и внесения их на поля.

Цель исследований: определение экологического эффекта от сокращения и утилизации навозосодержащих стоков доильного зала в теплице.

Материалы и методы. Оценка экологического эффекта осуществлялась по количеству выбросов углекислого газа от агрегатов для транспортировки и внесения навоза и НСДЗ в качестве органических удобрений на поля.

Осуществлены расчёты и проведено сравнение количества выбросов углекислого газа, приходящихся на 1 т молока, от транспортировки и внесения органических удобрений для вариантов, полученных на основе математической модели оптимизации [10] для фермы с поголовьем 600...650 дойных коров.

Согласно нормативным данным среднесуточное количество экскрементов от одного животного составляет 55 кг, количество подстилки, поступающей в навоз, – 1 кг³. Плановая продуктивность коров принята за 25 кг/сут.

Внесение навоза на поля для рассматриваемых вариантов предусматривалось агрегатом Т-150К + МЖТ-23, который согласно расчёту [14] при транспортировке жидких органических удобрений на расстояние 7 км будет иметь производительность 22,9 т/ч.

¹ Eurostat. EU economy green house gases near pre-pandemic levels. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220215-1> (дата обращения: 18.05.2022).

² Охрана окружающей среды в России. 2020: Статистический сборник. М.: Росстат, 2020. 113 с. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/nmV0UuE3/Ochrana_2020.pdf (дата обращения: 18.05.2022).

³ РД-АПК 1.10.15.02-17. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М.: Росинформагротех, 2017. 173 с.

Величина выбросов углекислого газа от сжигания моторного топлива G_{CO_2} , т/т топлива, в зависимости от его плотности рассчитывалась по формуле⁴:

$$G_{CO_2} = 0,55 (4,93 + \rho_{15}^{15}), \quad (1)$$

где ρ_{15}^{15} – относительная плотность моторного топлива (относительно плотности воды при 15,6°C (999,13 кг/м³). Согласно методическим указаниям⁴ плотность дизельного топлива при 15°C принята за 850 кг/м³.

Выбор технологии осуществлялся с помощью оптимизационной задачи, по результатам решения которой проведено сравнение количества выбросов углекислого газа для

вариантов с утилизацией НСДЗ в теплице [12] и внесением навоза на поля. Расчёты выполнены для фермы на 640 дойных коров с удельным выходом стоков на 1 гол. 7 л/сут. В качестве базового варианта принята традиционная технология, когда смесь стоков и навоза вносится на поля. Сравнение окупаемости затрат [15] показало высокую экономическую эффективность использования НСДЗ в теплице для выращивания роз.

Результаты и их обсуждение. Результаты решения компримиссионной задачи [10] по математическим моделям [11] по критерию минимального удельного выхода навозосодержащих стоков доильного зала представлены в таблице 1.

Таблица 1

Расчёт количества выбросов углекислого газа для вариантов, полученных на основе математической модели оптимизации

Table 1

Calculation of carbon dioxide emissions for the options obtained by a mathematical optimization model

Тип доильной установки <i>Milking system type</i>	Расчётное поголовье, гол. <i>Estimated livestock, head</i>	Удельный выход стоков, л/(гол. сут.) <i>Specific wastewater output, l/head/day</i>	Удельный выход навоза (включая стоки), кг/(гол. сут.) <i>Specific manure output (wastewater included), kg/head/day</i>	Выход навоза, т/год <i>Manure output, t/year</i>	Расход топлива, т/год <i>Fuel consumption, t/year</i>	Надой молока, т/год <i>Milk yield, t/year</i>	Выбросы CO ₂ при внесении навоза <i>CO₂ emissions during manure application</i>	
							кг/т молока <i>kg/t milk</i>	%
«Ёлочка» быстрый выход <i>Rapid Exit Herringbone system</i>	612	10,08	66,08	14761,0	12,79	5584,50	7,2847	104,9
«Ёлочка» обычный выход <i>Conventional Herringbone system</i>	612	7,90	63,90	14274,0	12,37	5584,50	7,0443	101,4
«Параллель», 1 выход <i>Parallel milking system, 1 exit</i>	648	8,13	64,13	15168,0	13,15	5913,00	7,0697	101,8
«Параллель», 2 выхода <i>Parallel milking system, 2 exits</i>	648	7,95	63,95	15125,5	13,11	5913,00	7,0498	101,5
«Карусель» с внешним обслуживанием <i>External Rotary milking system</i>	640	7,00	63,00	14716,8	12,75	5840,00	6,9451	100,0
«Карусель» с внутренним обслуживанием <i>Internal Rotary milking system</i>	620	7,10	63,10	14279,5	12,38	5657,50	6,9561	100,2

В зависимости от типа доильной установки оптимальный размер дойного стада составляет 612...648 гол., общий выход навоза – 14274,0...15168,0 т/год. Для транспортировки и внесения этого количества навоза на поля при использовании агрегата производительностью 22,5 т/ч [14] потребуется 12,37...13,15 т топлива в год.

Согласно расчётам по формуле (1) количество выбросов углекислого газа от транспортировки и внесения навоза на поля в расчёте на 1 т молока составит 6,95...7,29 кг (при плановой продуктивности коров 25 кг/сут).

Применение математической модели оптимизации технологических параметров фермы и доильного зала [11] позволяет выбрать вариант с минимальным выходом НСДЗ, а следовательно, и с наименьшим количеством выбросов

парникового газа CO₂ от агрегатов при транспортировке и внесении навоза. Так, в расчёте на 1 т молока количество выбросов CO₂ может отличаться до 4,9% в зависимости от выбранного варианта.

Количество выбросов углекислого газа от агрегатов при утилизации НСДЗ в теплице и базовом варианте представлено в таблице 2.

При использовании НСДЗ в теплице количество навоза, поступающего в навозохранилище, меньше на 1635 т/год, соответственно меньше и количество топлива, сжигаемого при его транспортировке и внесении на поля. Количество выбросов углекислого газа при сжигании топлива сокращается на 4,51 т/год, или на 0,78 кг на 1 т молока.

Таким образом, расчётный экологический эффект от использования навозосодержащих стоков в теплице по сравнению с базовой технологией внесения их на поля заключается в снижении выбросов парникового газа CO₂ на 11,1% от агрегатов для внесения органических удобрений.

⁴ Голубева А.С., Магарил Е.Р. Экологическая безопасность эксплуатации автотранспорта: Методические указания. Екатеринбург: УрФУ, 2015. 26 с.

Таблица 2

Выбросы углекислого газа от агрегатов для транспортировки и внесения навоза на поля

Table 2

Carbon dioxide emissions from tractor/implement units for manure transportation and field application

Показатели <i>Indicators</i>	Технология с утилизацией НСДЗ в теплице <i>Technology with the use of manure-bearing wastewater from milking parlors in a greenhouse</i>	Базовый вариант <i>Basic option</i>
Выход навоза, т/год / <i>Manure output, t/year</i>	13081,60	14716,80
Расход топлива, т/год / <i>Fuel consumption, t/year</i>	11,34	12,75
Выбросы углекислого газа, т/год / <i>Carbon dioxide emissions, t/year</i>	36,05	40,56
Надой молока, т/год / <i>Milk yield, t/year</i>	5840,00	5840,00
Выбросы углекислого газа, кг/т молока / <i>Carbon dioxide emissions, kg/t milk</i>	6,17	6,95
Выбросы углекислого газа, т/гол. год / <i>Carbon dioxide emissions, t/head/year</i>	0,0563	0,0634

Выводы

1. Применение математической модели оптимизации технологических параметров фермы и доильного зала позволило выбрать вариант с минимальным выходом навозосодержащих стоков доильного зала и с наименьшим количеством выбросов парникового газа CO₂ от агрегатов для транспортировки и внесения навоза на поля. Количество выбросов

углекислого газа от транспортировки и внесения навоза на поля в расчёте на 1 т молока может отличаться до 4,9% в зависимости от выбранного варианта.

2. Технология с утилизацией навозосодержащих стоков в теплице по сравнению с базовой технологией внесения смеси стоков и навоза на поля позволит снизить количество выбросов парникового газа CO₂ от агрегатов для внесения органических удобрений на поля на 11,1%.

Список использованных источников

- Podkówka Z., Čermák B., Podkówka W., Brouček J. Greenhouse gas emissions from cattle. *Ekologia Bratislava*. 2015; 34 (1): 82-88. <http://dx.doi.org/10.1515/eko-2015-0009>
- Uddin M.E., Aguirre-Villegas H.A., Larson R.A., Wattiaux M.A. Carbon footprint of milk from Holstein and Jersey cows fed low or high forage diet with alfalfa silage or corn silage as the main forage source. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 298: 126720. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126720>
- Самарин Г.Н., Соловьев М.С., Гордеев Д.Ю. Энергосберегающая рециркуляционная система микроклимата для животноводческих и птицеводческих помещений // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Материалы Международной научно-практической конференции. Минск, 2010. С. 159-163. EDN: NUZHCH.
- Установка для утилизации углекислого газа в животноводческом помещении: Пат. RU2567211 C1, МПК A01K 1/00, A61L 9/00, F24F 3/16 / А.Ю. Лобанов, А.Ф. Триандафилов. № 2014130000/13, заявл. 21.07.2014; опубл. 10.11.2015. EDN: ZFTUDJ.
- Schiefler I. Greenhouse gas and ammonia emissions from dairy barns. Inaugural-Dissertation ... Dr. agr. Bonn: Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2013. 93 p.
- Aguirre-Villegas H.A., Larson R.A. Evaluating greenhouse gas emissions from dairy manure management practices using survey data and lifecycle tools. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 143: 169-179. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.133>
- Chiumenti A., da Borso F., Pezzuolo A., Sartori L., Chiumenti R. Ammonia and greenhouse gas emissions from slatted dairy barn floors cleaned by robotic scrapers. *Research in Agricultural Engineering*. 2018, 64: 26-33. <http://dx.doi.org/10.17221/33/2017-RAE>
- Berzina L., Priekulis J., Aboltins A., Frolova O. Greenhouse gas emissions caused by farm manure management in Latvia. *Engineering for Rural Development*. 2019: 78-82. <http://dx.doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N090>
- Gordeev V., Mironov V. Use of ventilation emissions from animal barn for improvement of plant growth. *Engineering for Rural Development* (Latvia). 2014; 13: 99-102.
- Миронова Т.Ю., Гордеев В.В., Валге А.М. Способ минимизации выхода навозосодержащих стоков из доильного зала // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 56. С. 178-184. <http://dx.doi.org/10.24411/2078-1318-2019-13178>

References

- Podkówka Z., Čermák B., Podkówka W., Brouček J. Greenhouse gas emissions from cattle. *Ekologia Bratislava*. 2015; 34(1): 82-88. <http://dx.doi.org/10.1515/eko-2015-0009>
- Uddin M.E., Aguirre-Villegas H.A., Larson R.A., Wattiaux M.A. Carbon footprint of milk from Holstein and Jersey cows fed low or high forage diet with alfalfa silage or corn silage as the main forage source. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 298: 126720. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126720>
- Samarin G.N., Solov'ev M.S., Gordeev D.Ju. Energoberegayushchaya retsirkulyatsionnaya sistema mikroklimate dlya zhivotnovodcheskikh i ptitsevodcheskikh pomeshcheniy [Energy-saving recirculation system of microclimate for livestock and poultry houses]. In: *Nauchno-tehnicheskij progress v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: Mater. Mezhdunar. nauch.-praktich. konf.* Minsk, 2010: 159-163 (In Rus.)
- Lobanov A.Yu., Triandafilov A.F. Ustanovka dlya utilizatsii uglekislogo gaza v zhivotnovodcheskom pomeshchenii [Installation for carbon dioxide disposal used in a livestock house]. Patent No. 2567211 Russian Federation, IPC A01K1/00, 2015 (In Rus.)
- Schiefler I. Greenhouse gas and ammonia emissions from dairy barns. Inaugural-Dissertation ... Dr. agr. Bonn. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, 2013: 93.
- Aguirre-Villegas H.A., Larson R.A. Evaluating greenhouse gas emissions from dairy manure management practices using survey data and lifecycle tools. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 143: 169-179. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.133>
- Chiumenti A., da Borso F., Pezzuolo A., Sartori L., Chiumenti R. Ammonia and greenhouse gas emissions from slatted dairy barn floors cleaned by robotic scrapers. *Research in Agricultural Engineering*. 2018, 64: 26-33. <http://dx.doi.org/10.17221/33/2017-RAE>
- Berzina L., Priekulis J., Aboltins A., Frolova O. Greenhouse gas emissions caused by farm manure management in Latvia. *Engineering for Rural Development*. 2019: 78-82. <http://dx.doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N090>
- Gordeev V., Mironov V. Use of ventilation emissions from animal barn for improvement of plant growth. *Engineering for Rural Development*. 2014; 13: 99-102.
- Mironova T.Yu., Gordeev V.V., Valge A.M. Sposob minimizatsii vykhoda navozosoderzhashchikh stokov iz doil'nogo zala [Method for minimizing the output of manure-bearing wastewater from the milking parlour]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019; 56: 178-184. (In Rus.) <http://dx.doi.org/10.24411/2078-1318-2019-13178>
- Gordeev V.V., Mironova T.Yu., Khazanov V.E., Mironov V.N. Models to minimize output of manure-bearing wastewater from milking parlours at conceptual designing stage of dairy farms. *Engineering for Rural Development*. 2019: 413-419. <http://dx.doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N254>

11. Gordeev V.V., Mironova T.Yu., Khazanov V.E., Mironov V.N, Models to minimize output of manure-bearing wastewater from milking parlours at conceptual designing stage of dairy farms. *Engineering for rural development*. 2019; 413-419. <http://dx.doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N254>

12. Гордеев В.В., Хазанов В.Е., Миронов В.Н., Миронова Т.Ю. Молочная ферма КРС с минимальной антропогенной нагрузкой на окружающую среду // Сборник трудов Международного агроэкологического форума. Т. 3. СПб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2013. С. 14-21. EDN: RPUJAN.

13. Гордеева Т.И., Гордеев В.В. Технология утилизации навозосодержащих стоков доильных залов в тепличных сооружениях // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2006. № 78. С. 137-145. EDN: SZTJDF.

14. Васильев Э.В. Повышение эффективности процесса использования жидкого органического удобрения путем автоматизированного выбора рациональных вариантов технологий транспортировки и внесения в условиях северо-западного региона: Дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГАУ, 2015. 176 с. EDN: VAIMRL.

15. Гордеев В.В., Миронова Т.Ю. Сравнительная оценка технологий утилизации навозосодержащих стоков доильного зала // *Агроинженерия*. 2020. № 6 (100). С. 59-65. <http://dx.doi.org/10.26897/2687-1149-2020-6-59-65>

Критерии авторства

Миронова Т.Ю., Миронов В.Н. выполнили теоретические исследования и провели расчеты, на основании которых сделали обобщение и подготовили рукопись. Миронова Т.Ю., Миронов В.Н. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 26.05.2022

Одобрена после рецензирования 09.07.2022

Принята к публикации 09.09.2022

12. Gordeev V.V., Khazanov V.E., Mironov V.N., Mironova T.Yu. Molochnaya ferma KRS s minimal'noy antropogennoy nagruzkoy na okruzhayushchuyu sredyu [Dairy farm with the minimum anthropogenic impact on the environment]. In: *Sb. Trudov Mezhdunarodnogo agroyekologicheskogo foruma. Vol. 3*. Saint Petersburg: GNU SZNIIMESH Rossel'khozakademii. 2013: 14-21. (In Rus.)

13. Gordeeva T.I., Gordeev V.V. Tekhnologiya utilizatsii navozosoderzhashchikh stokov doil'nykh zalov v teplichnykh sooruzheniyakh [Technology of manure-bearing wastewater removal from milking parlors in greenhouse facilities]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2006; 78: 137-145. (In Rus.)

14. Vasiliev E.V. Povyshenie effektivnosti protsessa ispol'zovaniya zhidkogo organicheskogo udobreniya putem avtomatizirovannogo vybora ratsional'nykh variantov tehnologiy transportirovki i vneseniya v usloviyakh severo-zapadnogo regiona: PhD (Eng) thesis: 05.20.01 [Improving the efficiency of using liquid organic fertilizer by automated selection of rational transportation and application technologies in the North-Western Region]. Saint Petersburg: SPbSAU, 2015. 176. (In Rus.)

15. Gordeev V.V., Mironova T.Yu. Sravnitel'naya otsenka tehnologiy utilizatsii navozosoderzhashchikh stokov doil'nogo zala [Comparative evaluation of technologies for removing slurry effluents from milking parlours]. *Agricultural Engineering*. 2020; 6 (100): 59-65. (In Rus.) <http://dx.doi.org/10.26897/2687-1149-2020-6-59-65>

Contribution

T.Yu. Mironova and V.N. Mironov performed the theoretical study and made estimation analyses; generalized the results obtained and wrote the manuscript. T.Yu. Mironova and V.N. Mironov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 26.05.2022

Approved after reviewing 09.07.2022

Accepted for publication 09.09.2022