

4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.333.81

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_1_125

EDN: SSVSWG

**Обоснование конструктивных параметров дозирующей
системы машины для локального внесения
концентрированных твердых органических удобрений****Антон Михайлович Захаров¹, Алексей Петрович Мишанов²,
Евгений Александрович Мурзаев³, Даниил Юрьевич Иванов^{4✉},
Алексей Дмитриевич Комоедов⁵**

^{1, 2, 3, 4, 5} Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного
производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный
центр ВИМ», Санкт-Петербург, Россия

⁴ daniil.id29@yandex.ru[✉]

Аннотация. В настоящее время в России активно развиваются такие отрасли сельского хозяйства, как животноводство, в том числе птицеводство. При этом образуется все больше побочной продукции этих отраслей, а именно навоза и помета, и, как следствие, обостряется проблема их переработки и утилизации. Одним из наиболее предпочтительных, на наш взгляд, способов переработки навоза и помета, является их ферментация в биореакторах, в результате которой получают концентрированные твердые органические удобрения (КТОУ), которые содержат все необходимые растениям питательные элементы. Такие удобрения рационально применять при производстве продукции растениеводства, особенно при возделывании культурных растений по органическим технологиям, так как согласно ГОСТ 33980-2016 накладываются ограничения на дозу вносимых удобрений в размере 170 кг/га в год. В настоящее время на отечественном рынке сельскохозяйственной техники практически отсутствуют машины, с помощью которых можно вносить такие виды удобрений в малых дозах без снижения качества выполняемых работ. Сотрудниками Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» разработана конструкция машины для внесения концентрированных твердых органических удобрений. Проведен теоретический расчет конструктивных параметров дозирующей системы машины и разработана лабораторная установка с целью подтверждения и корректировки полученных данных. Обработка экспериментальных данных, полученных в ходе исследований, показала, что оптимальными конструктивными параметрами предложенного шнека – рабочего органа дозирующей системы машины для локального внесения КТОУ – являются следующие: диаметр шнека – 125 мм, шаг навивки – 125 мм.

Ключевые слова: дозирующая система, конструктивные параметры, концентрированные твердые органические удобрения (КТОУ), внесение, шнек

Для цитирования: Захаров А.М., Мишанов А.П., Мурзаев Е.А., Иванов Д.Ю., Комоедов А.Д. Обоснование конструктивных параметров дозирующей системы машины для локального внесения концентрированных твердых органических удобрений // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 1(80). С. 125–130. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_1_125-130.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT
FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

**Justification of design parameters of a dosing
system of the machine for the local application
of concentrated solid organic fertilizers****Anton M. Zakharov¹, Aleksey P. Mishanov², Evgeniy A. Murzaev³,
Daniil Yu. Ivanov^{4✉}, Aleksey D. Komoedov⁵**

^{1, 2, 3, 4, 5} Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production –
Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific
Agroengineering Centre VIM”, Saint Petersburg, Russia

⁴ daniil.id29@yandex.ru[✉]

Abstract. At present such branches of agriculture as animal husbandry, including poultry farming, are actively developing in Russia. Consequently, more and more by-products of these industries are being formed, namely manure and litter, and as a result, the problem of their processing and disposal is becoming more acute. According to the authors, one of the most preferable methods of processing manure and litter is their fermentation in bioreactors, as a result of which concentrated solid organic fertilizers (CSOF) are obtained, which contain all the nutrients necessary for plants. It is advisable to use such fertilizers in crop production, especially when growing cultivated plants using organic technologies, since GOST 33980-2016 limits the dose of applied fertilizers to the amount of 170 kg/ha per year. Currently, there are practically no machines in the Russian agricultural machinery market that can be used to apply such types of fertilizers in small doses without reducing the quality of works performed. In this regard, the members of the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Centre VIM” have designed a machine for applying concentrated solid organic fertilizers. Design parameters of the dosing system of this machine were theoretically calculated and a laboratory installation was developed in order to confirm and correct the obtained data. Processing of the experimental data obtained during the research showed that the optimal design parameters of the proposed auger as the working organ of the dosing system of the machine for local application of CSOFs are as follows: auger diameter = 125 mm; auger pitch = 125 mm.

Keywords: dosing system, design parameters, concentrated solid organic fertilizers (CSOF), application, auger
For citation: Zakharov A.M., Mishanov A.P., Murzaev E.A., Ivanov D.Yu., Komoedov A.D. Justification of design parameters of a dosing system of the machine for the local application of concentrated solid organic fertilizers. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(1):125-130. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_1_125-130.

Введение
В Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации активно развиваются такие отрасли сельского хозяйства, как животноводство и птицеводство [8], что приводит к увеличению количества получаемых сельскохозяйственными предприятиями побочных продуктов животноводства, в частности навоза и помета [3]. Применение таких побочных продуктов в качестве удобрений позволяет повышать плодородие и улучшать состояние почв за счет содержащегося в них органического вещества и питательных элементов [12]. Однако в случае несоблюдения технологических сроков при обеззараживании навоза и помета или нарушения агротехнологических сроков внесения готовых органических удобрений происходит снижение эффективности от их использования, а также возникает вероятность загрязнения окружающей среды [10].

Недостатком применения твердых органических удобрений в растениеводстве является наличие в них патогенной микрофлоры и семян сорной растительности, обеззараживание которых занимает длительное время. Для сокращения времени обеззараживания разрабатываются и применяются различные способы ускоренной переработки навоза и помета в органические удобрения [6, 9]. Одним из таких способов является компостирование в биореакторах, устройство и принцип работы которых позволяют ускорить обеззараживание с помощью принудительной подачи воздуха в органическую массу и постоянного ее перемешивания [1]. Данный способ уменьшает время обеззараживания, уничтожает семена сорных растений, а также снижает потерю органического вещества и питательных элементов. В результате биоферментации навоза и помета в биореакторе получают твердые органические удобрения с высоким содержанием питательных веществ или концентрированные твердые органические удобрения (КТОУ) [11, 14]. Например, в биологически активном гумусированном органическом удобрении «Биагум», производимом из куриного помета в биореакторе, конструкция которого разработана в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, содержится азот на уровне 2,0%.

В связи с получением КТОУ возникает вопрос о техническом средстве для их внесения, особенно это актуально при развивающемся органическом производстве продукции растениеводства [2], поскольку согласно ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации» регламентирована доза внесения азота на гектар в год, которая составляет 170 кг/га, или 8,5 т/га КТОУ с содержанием азота не более 2% [5].

В настоящее время на отечественном рынке сельскохозяйственной техники практически не представлены машины, с помощью которых можно вносить КТОУ в малых дозах, не снижая качество выполняемой работы. В связи с вышесказанным в

ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ была разработана конструкция комбинированной машины для внесения КТОУ [13], проведен расчет и создана лабораторная установка для обоснования конструктивных параметров дозирующей системы машины. Основываясь на анализе литературных источников и патентном поиске [7, 15], рабочим органом дозирующей системы выбран шнек, так как он обеспечивает гибкое регулирование производительности и обеспечивает ее стабильность во время работы.

Представлены результаты исследования процесса дозирования КТОУ в зависимости от частоты вращения и угла наклона рабочего органа, используемых в качестве варьируемых факторов для обоснования конструктивных параметров дозирующей системы.

Материалы и методы

С целью обоснования конструктивных параметров дозирующей системы машины для локального внесения КТОУ была спроектирована и изготовлена лабораторная установка для проведения экспериментальных исследований, представленная на рисунке 1.

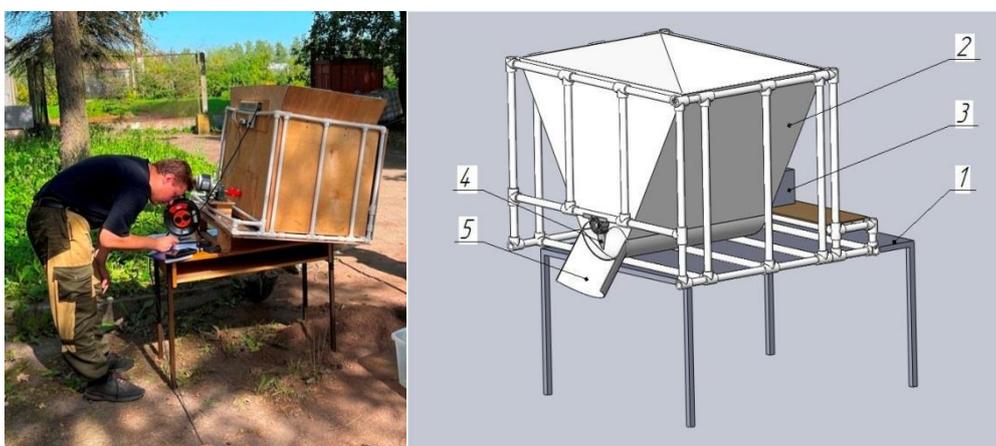


Рис. 1. Трехмерная модель лабораторной установки для проведения исследований: 1 – рабочий стол; 2 – бункер; 3 – мотор-редуктор; 4 – шнековый рабочий орган; 5 – направляющий лоток

Лабораторная установка состоит из рабочего стола 1, на котором с возможностью изменения угла наклона устанавливается бункер 2, с монтированным на нем мотор-редуктором 3, к выходному валу которого посредством шпоночного соединения прикреплен шнековый рабочий орган 4. Регулировка частоты вращения выходного вала мотор-редуктора осуществляется контролером широтно-импульсной модуляции. Включение и отключение подачи тока к мотор-редуктору осуществляется тумблером.

Бункер 2, установленный на рабочий стол 1, выставляется на заданный угол с помощью подставок. Внутри загружается удобрение. Удобрение, засыпанное в бункер, дозируется к выгрузному отверстию с направляющим лотком посредством передачи крутящего момента от выходного вала регулируемого мотор-редуктора 3 к шнековому рабочему органу 4. Пройдя направляющий лоток 5, удобрение собирается в контейнер за установленный промежуток времени. Далее собранные удобрения взвешиваются, затем определяется секундная производительность дозирующей системы на выбранном режиме работы.

Параметрами, влияющими на процесс дозирования удобрений, являются:

- угол наклона рабочего органа;
- частота вращения рабочего органа.

Для обоснования конструктивных параметров и их влияния на производительность дозирующей системы используется математическая модель в виде уравнения регрессии

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2. \quad (1)$$

Для получения коэффициентов регрессии проведен факторный эксперимент по плану 3^2 в пятикратной повторности.

Интервалы варьирования и условия кодирования переменных приняты на основании проведенных теоретических исследований и представлены в таблице.

Матрица планирования эксперимента

Факторы	Угол наклона рабочего органа α° (x_1)	Частота вращения рабочего органа n , мин ⁻¹ (x_2)
Нижний уровень (-)	0	15
Основной уровень (0)	5	20
Верхний уровень (+)	10	25

Результаты и их обсуждение

После статистической обработки экспериментальных данных установлены средние значения секундной производительности дозирующей системы для каждой комбинации факторов.

Статистическая обработка полученных данных проводилась в программном обеспечении Statgraphics методом регрессионного анализа. Получена математическая зависимость производительности дозирующей системы от конструктивных параметров дозирующей системы в виде уравнения регрессии в кодированном виде:

$$y = 1,52 + 0,425x_1 + 0,275x_2. \quad (2)$$

Квадрат множественного коэффициента корреляции R -квадрат равен 0,98, что говорит о том, что влияние угла наклона и частоты вращения рабочего органа на производительность дозирующей системы составляет 98%. По полученному полиному построена поверхность отклика, представленная на рисунке 2.

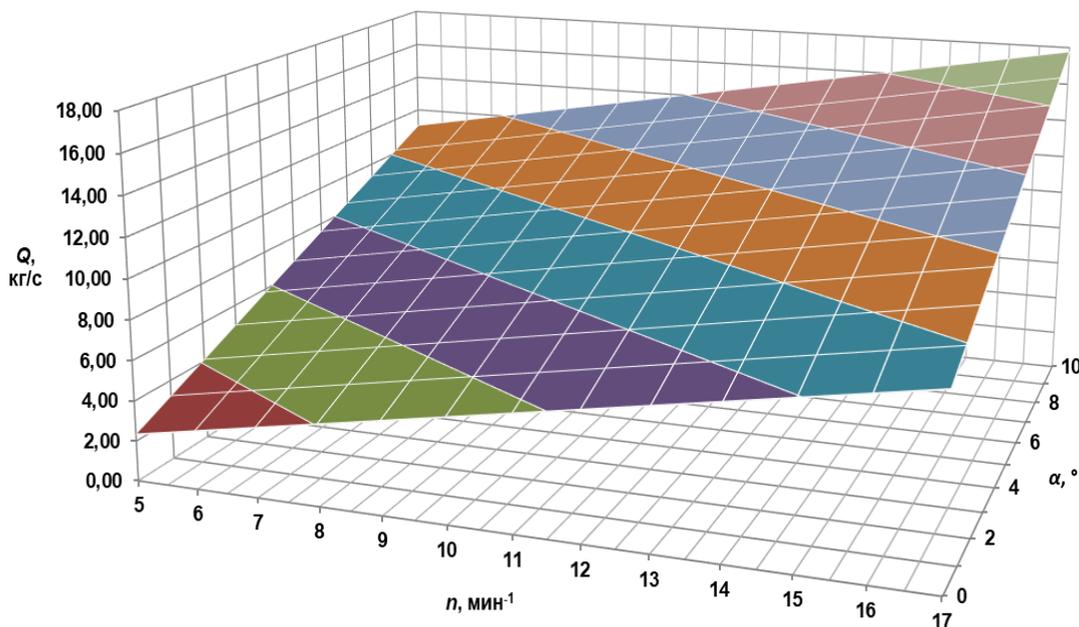


Рис. 2. Зависимость производительности дозирующей системы от угла наклона рабочего органа и частоты его вращения

Отклонение фактической производительности от заданной при угле наклона рабочего органа 0° находилось в интервале от 6,8 до 9,8%, что соответствует допустимому значению, указанному в ГОСТ 28718-2016 «Техника сельскохозяйственная. Машины для внесения твердых органических удобрений. Методы испытаний» [4].

Выводы

На основании полученных данных и результатов их статистической обработки установлены оптимальные конструктивные параметры применяемого шнека – рабочего органа дозирующей системы машины для локального внесения КТОУ:

- диаметр шнека – 125 мм;
- шаг навивки – 125 мм,

Рассчитанные параметры позволяют обеспечить регулирование дозы внесения от 1,5 до 8,5 т/га в диапазоне частоты вращения $n = 12\text{--}68 \text{ мин}^{-1}$.

Список источников

1. Архипченко И.А., Бакина Л.Г., Брюханов А.Ю. и др. Трансформации микробного сообщества и органического субстрата при аэробной ферментации помета // *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24, № 8. С. 22–27. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-8-22-27.
2. Банникова Н.В., Воробьева Н.В., Орел Ю.В. и др. Перспективы развития рынка органических продуктов питания с учетом факторов потребительского спроса // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 15, № 1(72). С. 190–201. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_190.
3. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В. Анализ образования и накопления животноводческих отходов в Ленинградской области // *Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Владимир, 08–10 июля 2015 г.)*. Владимир: Издательский полиграфический комплекс «ПресСто», 2015. С. 310–317.
4. ГОСТ 28718-2016. Техника сельскохозяйственная. Машины для внесения твердых органических удобрений. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2016. 43 с.
5. ГОСТ 33980-2016. Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации. Москва: Стандартинформ, 2020. 49 с.
6. Димитриев А.В. Анализ технологий производства биоудобрений // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2006. № 78. С. 90–95.
7. Захаров А.М., Мурзаев Е.А., Иванов Д.Ю. Обоснование конструктивных параметров дозирующей системы машины для внесения компостов // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 2(111). С. 73–83. DOI: 10.24412/2713-2641-2022-2111-73-83.
8. Ксенофонтов М.Ю., Ползиков Д.А., Мельникова Я.С. и др. Основные тенденции и факторы странственного развития АПК России в ретроспективе (на примере рынков мяса, молока и зерна) // *Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН*. 2019. Т. 17. С. 143–173. DOI: 10.29003/m815.sp_ief_ras2019/143-173.
9. Липкович Э.И., Бельтюков Л.П., Бондаренко А.М. Органическая система земледелия // *Техника и оборудование для села*. 2014. № 8. С. 2–7.
10. Марченко Н.М., Личман Г.И., Шебалкин А.Е. Механизация внесения органических удобрений. Москва: Агропромиздат, 1990. 207 с.
11. Уваров Р.А. Биоферментация помёта в установках закрытого типа // *Птицеводство*. 2016. № 10. С. 53–56.
12. Устроенов А.А., Минин В.Б., Мурзаев Е.А. Зависимость урожайности картофеля в биологизированной технологии возделывания от параметров базовых технологических процессов // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 1(98). С. 93–101. DOI: 10.24411/0131-5226-2019-10125.
13. Устройство для дифференцированного внесения органических удобрений при возделывании пропашных культур: патент на изобретение № 2770193 Российская Федерация. № 2021127545; заявл. 20.09.2021; опубл. 14.04.2022, Бюл. № 11. 6 с.
14. Шалавина Е.В., Брюханов А.Ю., Васильев Э.В. и др. Биоферментация органических отходов свиноводческого комплекса в установке барабанного типа // *Аграрная наука*. 2020. № 6. С. 51–56. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-51-56.
15. Kumar A., Singh J. Development and testing of tractor drawn subsurface manure applicator // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2021. Vol. 10(4). Pp. 231–237.

References

1. Arkhipchenko I., Bakina L., Bruhanov A. et al. Transformation in the microbial community and of organic substrate during aerobic fermentation of manure. *Ecology and Industry of Russia*. 2020;24(8):22-27. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-8-22-27. (In Russ.).
2. Bannikova N.V., Vorobyeva N.V., Orel Yu.V. et al. Perspectives for development of organic products market with consideration of consumer demand factors. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(1):190-201. DOI: 10.53914/issn2071-2243. (In Russ.).
3. Bryukhanov A.Yu., Shalavina E.V. Analysis of the formation and accumulation of livestock waste in Leningrad Oblast. Ecological problems of the use of organic fertilizers in agriculture: Proceedings of the All-Russian Research-to-Practice Conference with International Participation (Vladimir, July 08-10, 2015). Vladimir: Publishing Printing Centre "PresSto", 2015: 310-317. (In Russ.).

4. GOST 28718-2016. Agricultural machinery. Machines for applying solid organic fertilizers. Test methods. Moscow: Standartinform; 2016. 43 p.
5. GOST 33980-2016. Organic products. Rules of production, processing, labeling and sale. Moscow: Standartinform; 2020. 49 p.
6. Dimitriev A.V. Analysis of biofertilizer production technologies. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2006;78:90-95. (In Russ.).
7. Zakharov A.M., Murzaev E.A., Ivanov D.Yu. Justification of design parameters of a dosing system for a compost application machine. *AgroEkolInzheneriya*. 2022;2(111):73-83. (In Russ.).
8. Ksenofontov M.Yu., Polzikov D.A., Melnikova Ya.S., etc. The main trends and factors of spatial development of the Agro-industrial Complex of Russia in retrospect (on the example of meat, milk and grain markets). *Scientific papers: Institute of National Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences*. 2019;17:143-173. DOI: 10.29003/m815.sp_ef_ras2019/143-173. (In Russ.).
9. Lipkovich E.I., Belyukov L.P., Bondarenko A.M. Organic farming system. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2014;8:2-7. (In Russ.).
10. Marchenko N.M., Lichman G.I., Shebalkin A.E. Mechanization of organic fertilizer application. Moscow: Agropromizdat, 1990. 207 p. (In Russ.).
11. Uvarov R.A. Bio-fermentation of manure in closed systems. *Ptitsevodstvo*. 2016;10:53-56. (In Russ.).
12. Ustroev A.A., Minin V.B., Murzaev E.A. Correlation between potato yields in biologybased cultivation technology and parameters of basic technological processes. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019;1(98):93-101. (In Russ.).
13. Device for differentiated application of organic fertilizers in the cultivation of row crops: Patent 2770193 Russian Federation. No. 2021127545; claimed 09.20.2021; published 04.14.2022, Bulletin 11. 6 p. (In Russ.).
14. Shalavina E.V., Briukhanov A.Yu., Vasilev E.V. et al. Biofermentation of organic waste from a pig-breeding complex in a drum-type installation. *Agrarian Science*. 2020;6:51-56. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-51-56. (In Russ.).
15. Kumar A., Singh J. Development and testing of tractor drawn subsurface manure applicator. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2021;10(4):231-237.

Информация об авторах

А.М. Захаров – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Агроэкология в растениеводстве», Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», bauermw@mail.ru.

А.П. Мишанов – старший научный сотрудник отдела «Агроэкология в растениеводстве», Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», amishanov@mail.ru.

Е.А. Мурзаев – научный сотрудник отдела «Агроэкология в растениеводстве», Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», murzaev.e.a@mail.ru.

Д.Ю. Иванов – аспирант, младший научный сотрудник отдела «Агроэкология в растениеводстве», Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», daniil.id29@yandex.ru.

А.Д. Комоедов – аспирант, младший научный сотрудник отдела «Агроэкология в растениеводстве», Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», komoedov.alexej@yandex.ru.

Information about the authors

A.M. Zakharov, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, the Department of Agroecology in Crop Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, bauermw@mail.ru.

A.P. Mishanov, Senior Researcher, the Department of Agroecology in Crop Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, amishanov@mail.ru.

E.A. Murzaev, Researcher, the Department of Agroecology in Crop Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, murzaev.e.a@mail.ru.

D.Yu. Ivanov, Postgraduate Student, Junior Researcher, the Department of Agroecology in Crop Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, daniil.id29@yandex.ru.

A.D. Komoedov, Postgraduate Student, Junior Researcher, the Department of Agroecology in Crop Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, komoedov.alexej@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 19.10.2023; одобрена после рецензирования 21.11.2023; принята к публикации 05.12.2023.

The article was submitted 19.10.2023; approved after reviewing 21.11.2023; accepted for publication 05.12.2023.

© Захаров А.М., Мишанов А.П., Мурзаев Е.А., Иванов Д.Ю., Комоедов А.Д., 2024