

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

Научная статья

УДК 631.171

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_1_131

EDN: RTEMNH

**Результаты экспериментальных исследований
по обоснованию интервала варьирования времени
смешивания БМВД в центробежном лопастном смесителе****Владислав Владимирович Гордеев^{1✉}, Евгений Вячеславович Авакимянц²,
Виктор Евгеньевич Хазанов³, Татьяна Ивановна Гордеева⁴**^{1, 2, 3, 4} Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного
производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
Санкт-Петербург, Россия¹ vladgordeev@mail.ru✉

Аннотация. Смешивание является сложным процессом, который зависит от физико-механических свойств смешиваемых материалов, конструкции смесителя и режимов его работы. На основе анализа физико-механических свойств белково-минерально-витаминных добавок (БМВД) для кормления КРС сделан вывод, что для их приготовления следует применять центробежный смеситель с радиальной лопастью мешалкой. Для обоснования интервала варьирования времени смешивания в ходе эксперимента изменяли время смешивания от 30 до 240 секунд с интервалом в 30 с и угол установки лопасти от 30 до 60° относительно горизонтальной плоскости с интервалом 15°. Окружная скорость на краю лопасти составляла 11 м/с для всех вариантов опытов. Смесь имела общую массу 27,27 кг и состояла из 27 кг основного компонента и 0,27 кг ключевого компонента. Отвечающая зоотехническим требованиям неоднородность смеси менее 10% может быть получена уже по истечении 60 с от начала работы смесителя при угле установки лопасти 30° и 60°, а при угле 45° – по истечении 90 с. Удельная энергоёмкость при угле установки лопасти 30° составляет 1,34 кВт·ч/т, что на 28,7 и 46,8% меньше, чем при углах 60° и 45° соответственно. Наилучшее качество смеси – 2,0% неоднородности – достигается при длительности смешивания 240 с и угле установки лопасти 30°, при этом удельная энергоёмкость составляет 5,38 кВт·ч/т. Близкое к этому качество смеси – 2,69% неоднородности – достигается при угле установки лопасти 45° и длительности смешивания 120 с, при этом удельная энергоёмкость составляет 3,36 кВт·ч/т. Достижение высокого качества смеси, соответствующего зоотехническим требованиям, при длительности смешивания не более 120 с позволяет обосновать интервал варьирования времени смешивания БМВД в центробежном смесителе с радиальной лопастью мешалкой, при этом за верхний уровень варьирования следует принять длительность смешивания 150 с.

Ключевые слова: смешивание, кормосмесь, лопастной смеситель, длительность смешивания, белково-минерально-витаминные добавки (БМВД)

Для цитирования: Гордеев В.В., Авакимянц Е.В., Хазанов В.Е., Гордеева Т.И. Результаты экспериментальных исследований по обоснованию интервала варьирования времени смешивания БМВД в центробежном лопастном смесителе // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 1(80). С. 131–137. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_1_131-137.

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

Original article

**Results of experimental studies on variability interval estimation
of mixing time for albuminous vitamin-mineral
additives in a centrifugal paddle mixer****Vladislav V. Gordeev^{1✉}, Evgeny V. Avakimyanets²,
Victor E. Khazanov³, Tatiana I. Gordeeva⁴**^{1, 2, 3, 4} Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production –
Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific
Agroengineering Centre VIM”, Saint Petersburg, Russia¹ vladgordeev@mail.ru✉

Abstract. Mixing is a complicated process that depends on mixer design and its operating modes, as well as physical and mechanical properties of the materials being mixed. Based on the analysis of physical and mechanical properties of albuminous vitamin-mineral additives (AVMA) used for feeding cattle, a conclusion was made about the advisability of using a centrifugal mixer with a radial paddle mixer, and the interval of variation of mixing time was experimentally substantiated. During the experiment the mixing time was being changed from 30 to 240 seconds with the interval of 30 seconds and the blade pitch angle was being changed from 30 to 60° relative to the horizontal plane with the interval of 15°. Peripheral speed at the edge of the blade was 11 m/s in all experimental variants. The mixture had a total mass of 27.27 kg and consisted of 27 kg of the main component and 0.27 kg of the key component. Heterogeneity of mixture of less than 10% that meets the zootechnical requirements can be obtained already after 60 seconds from the start of mixer operation at blade pitch angles of 30° and 60°, and after 90 seconds at the angle of 45°. Energy intensity at the blade pitch angle of 30° is 1.34 kWh/t, which is 28.7 and 46.8% less than at the angles of 60° and 45°, respectively. The best quality of mixture (heterogeneity of 2.0%) is achieved with the mixing time of 240 seconds and blade pitch angle of 30°, while the energy intensity is 5.38 kWh/t. A similar mixture quality (heterogeneity of 2.69%) is achieved with the blade pitch angle of 45° and mixing time of 120 s, while the energy intensity is 3.36 kWh/t. Achieving a high quality of mixture that meets the zootechnical requirements with the mixing time of no more than 120 seconds allows justifying the interval of variation of mixing time for AVMA in a centrifugal mixer with a radial paddle mixer, and the mixing time of 150 s should be taken as the upper level of variation.

Keywords: mixing, feed mixture, paddle mixer, mixing time, albuminous vitamin-mineral additives (AVMA)

For citation: Gordeev V.V., Avakimiyants E.V., Khazanov V.E., Gordeeva T.I. Results of experimental studies on variability interval estimation of mixing time for albuminous vitamin-mineral additives in a centrifugal paddle mixer. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(1):131-137. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_1_131-137.

Введение

Смешивание различных добавок, применяемых для кормления крупного рогатого скота, является сложным процессом, который зависит от конструкции смесителя, режимов его работы и физико-механических свойств смешиваемых материалов.

Формирование качества смеси происходит в результате одновременного течения трех элементарных процессов:

- конвективного смешивания;
- диффузионного смешивания;
- сегрегации [4, 7, 9, 14].

Влияние элементарных процессов на качество смеси поясняется на рисунке 1.

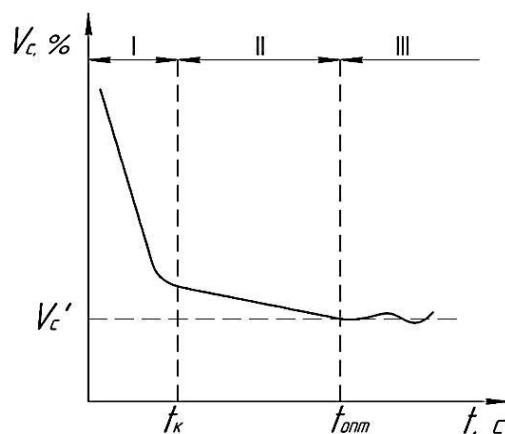


Рис. 1. Зависимость коэффициента неоднородности смеси V_c от времени смешивания

Участок I соответствует преобладанию конвективного смешивания, участок II характеризует диффузионное смешивание, на участке III диффузионное смешивание и сегрегация уравниваются. Скорость диффузионного смешивания и сегрегации зависит от физико-механических свойств компонентов смеси и характера их движения. Исследования физико-механических свойств белково-минерально-витаминных добавок (БМВД), применяемых для кормления крупного рогатого скота (КРС), позволили определить их насыпную плотность, гранулометрический состав, углы естественного откоса и обрушения, коэффициенты внутреннего и внешнего трения [2]. Установлено, что более 80% частиц БМВД, применяемых для кормления молочных коров, являются

порошкообразными, мелкозернистыми сыпучими смесями с размерами в пределах 0,105–0,75 мм [15]. Для их смешивания чаще всего применяют центробежные смесители с радиальной мешалкой. Время смешивания в таких смесителях может составлять 240–960 с [9, 13]. В смесителях с псевдооживленным слоем время достижения наилучшего качества смеси может находиться в пределах 40–120 с [5, 6, 9, 11]. Время смешивания сухих кормосмесей в барабанных смесителях составляет 180–300 с [8].

Цель исследований – обоснование интервала варьирования времени смешивания БМВД в центробежном лопастном смесителе для планирования многофакторного эксперимента.

Методика исследования

Экспериментальная установка для смешивания белково-минерально-витаминных добавок показана на рисунке 2.



Рис. 2. Смеситель: 1 – бункер; 2 – лоток выгрузки; 3 – привод; 4 – рама; 5 – блок управления; 6 – панель управления

Центробежный смеситель с радиальной лопастной мешалкой работает следующим образом. Смешиваемый материал загружается в бункер 1 в произвольной последовательности. В блоке управления 5 с помощью панели управления 6 задается необходимая частота вращения привода 3 в соответствии с планом эксперимента. Окружная скорость на краю лопасти составляла 11 м/с для всех вариантов опытов. В ходе исследований, в соответствии с планом эксперимента, изменяли время смешивания от 30 до 240 секунд с интервалом в 30 с и угол установки лопасти от 30° до 60° относительно горизонтальной плоскости с интервалом 15°. Время смешивания контролировали секундомером. После загрузки смешиваемого материала привод смесителя включался на 30 с, затем отбирали три пробы, после чего смешивание возобновляли еще на 30 с. Для отбора проб применяли представленный на рисунке 3 точечный пробоотборник. После окончания процесса смешивания материал выгружался через лоток выгрузки 2.



Рис. 3. Пробоотборник

Схема расположения точек отбора проб приведена на рисунке 4.

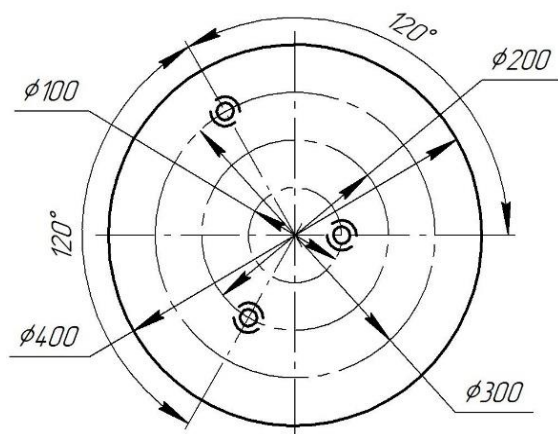


Рис. 4. Схема расположения точек отбора проб

Отобранные пробы помещались в отдельные герметичные емкости для дальнейшего анализа. Смешанный материал каждой пробы взвешивали с точностью до 0,1 г, затем разделяли на основной и ключевой компоненты.

При проведении экспериментальных исследований смесителя БМВД в качестве основного компонента применялась крупа манная, в качестве ключевого – просо, окрашенное с помощью пищевых красителей. Использование крупы манной в качестве модельного материала является наиболее рациональным ввиду соответствия ее

физико-механических свойств рекомендуемым свойствам БМВД при относительно низких затратах на реализацию экспериментов [1].

На рисунке 5 представлен общий вид смеси. Для всех вариантов опытов смесь имела общую массу 27,27 кг и состояла из 27 кг основного компонента и 0,27 кг ключевого компонента, т. е. доля ключевого компонента составляла 1% относительно массы основного компонента.



Рис. 5. Общий вид смеси

Для определения качества смешивания, оценки равномерности распределения ключевого компонента рекомендуется использовать коэффициент неоднородности смеси V_c [3, 9, 12]:

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}, \quad (1)$$

где \bar{c} – среднее арифметическое значение концентрации ключевого компонента во всех пробах смеси, %;

c_i – концентрация ключевого компонента в i -й пробе, %;

n – общее число проб.

Также в ходе исследования определяли энергоёмкость по формуле (2) методом прямого измерения потребляемой электрической мощности в процессе смешивания.

$$E_i = \frac{N_i \cdot t}{m_{см}}, \quad (2)$$

где N_i – потребляемая мощность, среднееарифметическое значение трех повторностей, кВт;

t – время смешивания, в соответствии с планом эксперимента, ч;

$m_{см}$ – масса смешиваемого материала, т.

Обработка результатов исследований производилась известными методами математической статистики с определением средних значений, среднеквадратичного отклонения исследуемых величин.

Результаты и их обсуждение

Результаты опытов по определению коэффициента неоднородности смеси и энергоёмкости процесса смешивания в зависимости от времени смешивания и угла установки лопасти смесителя представлены в виде таблицы и графически на рисунке 6.

№ опыта	Время смешивания, с	Угол наклона лопасти $\beta_L = 30^\circ$		Угол наклона лопасти $\beta_L = 45^\circ$		Угол наклона лопасти $\beta_L = 60^\circ$	
		$V_c, \%$	$E_i, \text{кВт}\cdot\text{ч/т}$	$V_c, \%$	$E_i, \text{кВт}\cdot\text{ч/т}$	$V_c, \%$	$E_i, \text{кВт}\cdot\text{ч/т}$
1	30	13,21	0,67	12,12	0,84	10,05	0,94
2	60	7,98	1,34	12,84	1,68	7,74	1,88
3	90	10,96	2,02	5,16	2,52	5,57	2,81
4	120	3,73	2,69	2,69	3,36	9,72	3,75
5	150	10,37	3,36	14,11	4,19	5,96	4,69
6	180	13,07	4,03	8,08	5,03	3,55	5,63
7	210	4,50	4,71	8,05	5,87	13,14	6,57
8	240	2,00	5,38	13,18	6,71	12,18	7,51

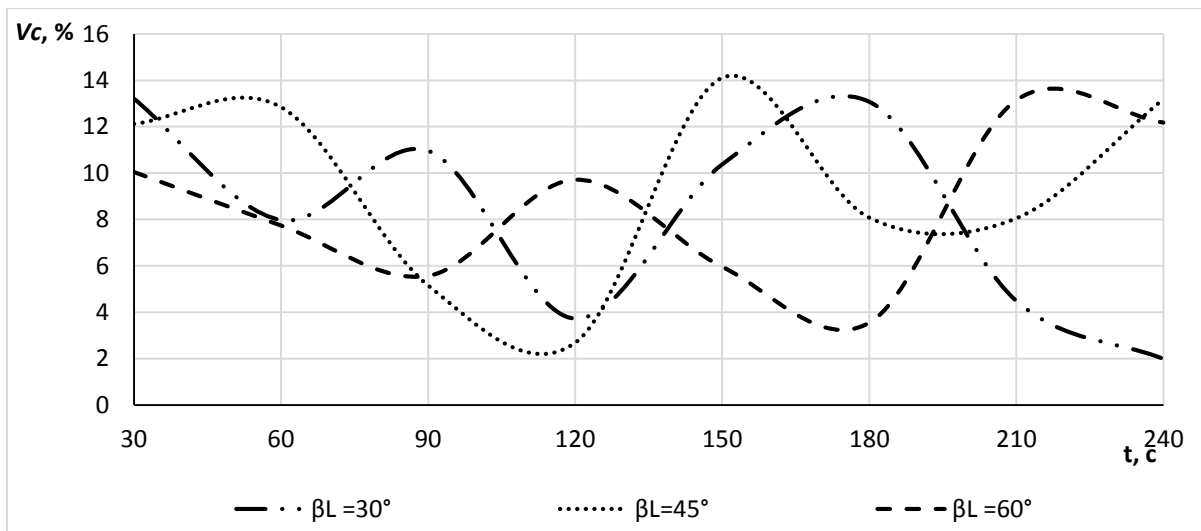


Рис. 6. Зависимости коэффициента неоднородности смеси от времени смешивания и угла установки лопасти

Из результатов опытов видно, что отвечающая зоотехническим требованиям [10] неоднородность смеси менее 10%, может быть получена уже по истечении 60 с от начала работы смесителя при углах установки лопасти 30° и 60° , а при угле установки лопасти 45° – по истечении 90 с. При этом удельная энергоёмкость при угле установки лопасти 30° составляет 1,34 кВт·ч/т, что на 28,7 и 46,8% меньше, чем при углах установки 60° и 45° соответственно.

При наименьшем угле установки лопасти 30° и наибольшем времени смешивания 240 с неоднородность смеси составила 2%, что является наилучшим качеством в данных

исследованиях, при этом энергоемкость составила 5,38 кВт·ч/т. Близкое к этому качество смеси – 2,69% неоднородности, но при меньшей энергоемкости 3,36 кВт·ч/т получено при угле установки лопасти 45° и длительности смешивания 120 с. Качество смеси, соответствующее зоотехническим требованиям, достигнуто при длительности смешивания не более 120 с, что позволяет обосновать верхний уровень варьирования времени смешивания БМВД в центробежном смесителе с радиальной лопастной мешалкой.

Выводы

Смешивание БМВД в центробежном смесителе с радиальной лопастной мешалкой позволяет получить качественную смесь, соответствующую зоотехническим требованиям, при угле наклона лопасти 30° и 60° по истечении длительности смешивания 60 с, при угле наклона 45° – по истечении 90 с. Наилучшее качество смеси – 2,0% неоднородности – достигается при длительности смешивания 240 с и наклоне лопасти 30°, при этом удельная энергоемкость составляет 5,38 кВт·ч/т. Наиболее близкое к наилучшему качеству смеси – 2,69% неоднородности – достигается при наклоне лопасти 45° и длительности смешивания 120 с, при этом удельная энергоемкость сравнительно мала и составляет 3,36 кВт·ч/т.

Достижение высокого качества смеси, соответствующего зоотехническим требованиям, при длительности смешивания, не превышающей 120 с, позволяет сделать вывод о необходимости установления интервалов варьирования времени смешивания БМВД для КРС в центробежном смесителе с радиальной лопастной мешалкой при планировании многофакторного эксперимента в пределах 30–150 с ввиду нецелесообразности смешивания дольше 150 с.

Список источников

1. Авакимянц Е.В., Гордеев В.В. Обоснование выбора модельного материала для экспериментальных исследований по смешиванию БМВД // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 3(47). С. 59–62. DOI: 10.51794/27132064-2022-3-59.
2. Авакимянц Е.В., Гордеев В.В. Физико-механические свойства кормовых добавок для КРС // АгроЭкоИнженерия. 2020. № 3(104). С. 100–108.
3. Борщев В.Я., Гусев Ю.И., Промтов М.А. и др. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие. Москва: «Издательство Машиностроение-1», 2006. 208 с.
4. Брагинцев С.В. Совершенствование технологий и технических средств внутрихозяйственного производства полнорационных комбикормов: дис. ... д-ра техн. наук; 05.20.01. Ростов-на-Дону, 2022. 382 с.
5. Бражник Ю.В. Совершенствование конструкции и процесса смешивания в лопастном смесителе с высокоскоростным режимом работы: дис. ... канд. техн. наук; 05.02.13. Белгород, 2017. 195 с.
6. Бражник Ю.В., Несмеянов Н.П., Горшков П.С. Лопастной смеситель для сухих строительных смесей с высокоскоростным режимом работы: монография. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. 131 с.
7. Кажияхметова А.А. Совершенствование технологического процесса приготовления сухих рассыпных комбикормов шнековым смесителем с активным каналом обратного хода: дис. ... канд. техн. наук; 05.20.01. Тамбов, 2020. 199 с.
8. Коновалов В.В., Димитриев Н.В., Кшникаткин С.А. и др. Обоснование угла установки емкости и длительности перемешивания сухих смесей барабанным смесителем // Нива Поволжья. 2013. № 1. С. 46–50.
9. Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов. Москва: Машиностроение, 1973. 216 с.
10. НТП АПК 1.10.16.001-02. Нормы технологического проектирования кормоцехов для животноводческих ферм и комплексов. Москва, 2002. 115 с.
11. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками; пер. с польск.; под ред. И.А. Щупляка. Ленинград: Химия, Ленингр. отд-ние, 1975. 384 с.
12. Федоренко И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов: учебное пособие. Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. 176 с.
13. Чупшев А.В., Коновалов В.В., Гусев С.В. Экспериментальные исследования смесителя кормов // Нива Поволжья. 2008. № 2(7). С. 69–75.
14. Шубин И.Н., Свиридов М.М., Таров В.П. Технологические машины и оборудование. Сыпучие материалы и их свойства: учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2005. 76 с.
15. Avakimyan E.V., Gordeev V.V. Physical and mechanical properties of mixtures of feed additives for cattle. Improving energy efficiency, environmental safety and sustainable development in agriculture: International Scientific and Practical Conference. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. London: IOP Publishing Ltd, 2022. Vol. 979. Article no. 012082. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012082.

References

1. Avakimyants E.V., Gordeev V.V. Justification of the model material for experimental research by BMVD mixing choice. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2022;3(47):59-62. DOI: 10.51794/27132064-2022-3-59. (In Russ.).
2. Avakimyants E.V., Gordeev V.V. Physical and mechanical properties of feed additives for cattle. *AgroEcoEngineering*. 2020;3(104):100-108. (In Russ.).
3. Borshchev V.Ya., Gusev Yu.I., Promtov M.A. et al. Equipment for processing bulk materials: textbook. Moscow: Mashinostroenie-1 Publishers; 2006. 208 p. (In Russ.).
4. Braginets S.V. Improvement of technologies and technical means of on-farm production of complete compound feeds: Doctoral Dissertation in Engineering Science: 05.20.01. Rostov-on-Don; 2022. 382 p. (In Russ.).
5. Brazhnik Yu.V. Improving the design and mixing process in a high-speed paddle mixer: Candidate Dissertation in Engineering Science: 05.02.13. Belgorod; 2017. 195 p. (In Russ.).
6. Brazhnik, Yu.V., Nesmeyanov N.P., Gorshkov P.S. Paddle mixer for dry building mixes with high-speed operation: monograph. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; 2018. 131 p. (In Russ.).
7. Kazhiyahmetova A.A. Improvement of the technological process of preparation of dry loose compound feeds with a screw mixer with an active return channel: Candidate Dissertation in Engineering Science: 05.20.01. Tambov; 2020. 199 p. (In Russ.).
8. Konovalov V.V., Dimitriev N.V., Kshnikatkin S.A. et al. Justification of the angle of installation of capacity and duration of stirring of a dry mixture by the tumbler - blender. *Niva Povolzhya*. 2013;1:46-50. (In Russ.).
9. Makarov Yu.I. Devices for mixing bulk materials. Moscow: Mechanical engineering; 1973. 216 p. (In Russ.).
10. NTP APK 1.10.16.001-02. Norms of technological design of feed mills for livestock farms and complexes. Moscow; 2002. 115 p. (In Russ.).
11. Strenk F. Mixing and devices with agitators; translated from Polish under editorship of I.A. Shchuplyak. Leningrad: Khimiya Publishers, Leningrad Division; 1975. 384 p.
12. Fedorenko I.Ya. Technological processes and equipment for the preparation of feed: study guide. Moscow: FORUM: INFRA-M; 2020. 176 p. (In Russ.).
13. Chupshev A.V., Konovalov V.V., Gusev S.V. Experimental studies of the feed mixer. *Niva Povolzhya*. 2008;2(7):69-75. (In Russ.).
14. Shubin I.N., Sviridov M.M., Tarov V.P. Technological machines and equipment. Bulk materials and their properties. Tambov: Tambov State Technical University Publishers; 2005. 76 p. (In Russ.).
15. Avakimyants E.V., Gordeev V.V. Physical and mechanical properties of mixtures of feed additives for cattle. Improving energy efficiency, environmental safety and sustainable development in agriculture: International Scientific and Practical Conference. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. London: IOP Publishing Ltd, 2022;979:012082. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012082.

Информация об авторах

В.В. Гордеев – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», vladgordeev@mail.ru.

Е.В. Авакимянц – соискатель, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», avakimyants@gmail.com.

В.Е. Хазанов – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», cow-sznii@yandex.ru.

Т.И. Гордеева – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», tatianaktn@mail.ru.

Information about the authors

V.V. Gordeev, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Leading Research Scientist, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Centre VIM”, vladgordeev@mail.ru.

E.V. Avakimyants, Candidate Degree Seeking Applicant, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Centre VIM”, avakimyants@gmail.com.

V.E. Khazanov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Leading Research Scientist, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Centre VIM”, cow-sznii@yandex.ru.

T.I. Gordeeva, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Senior Research Scientist, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Centre VIM”, tatianaktn@mail.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.

© Гордеев В.В., Авакимянц Е.В., Хазанов В.Е., Гордеева Т.И., 2024
