



## Повышение равномерности внесения минеральных и известковых удобрений

В. А. Овчинников<sup>1</sup>✉, Н. А. Жалнин<sup>1</sup>, А. Д. Комолов<sup>1</sup>,  
Е. С. Зыкин<sup>2</sup>, И. Ю. Тюрин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет*

*(г. Саранск, Российская Федерация)*

<sup>2</sup> *Ульяновский ГАУ (г. Ульяновск, Российская Федерация)*

<sup>3</sup> *Вавиловский университет*

*(г. Саратов, Российская Федерация)*

✉ [ovchinnikovv81@yandex.ru](mailto:ovchinnikovv81@yandex.ru)

### Аннотация

**Введение.** Современное сельскохозяйственное производство основано на применении ресурсосберегающих технологий производства растениеводческой продукции. Важным элементом данных технологий является применение минеральных удобрений, равномерности внесения которых уделяют особое внимание.

**Цель исследования.** Совершенствование процесса внесения минеральных и известковых удобрений путем разработки пневмоцентробежного рабочего органа.

**Материалы и методы.** В теоретических исследованиях использовались положения математики и теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились на полигоне института механики и энергетики Мордовского государственного университета. Оценку качества работы агрегата, оснащенного экспериментальными рабочими органами, проводили согласно ГОСТ 28714-2007.

**Результаты исследования.** В целях более качественного распределения по поверхности поля минеральных удобрений, неоднородных по гранулометрическому составу, предложен рабочий орган, принцип работы которого основан на суммарном использовании механического и пневматического воздействия на частицы вносимого материала. Использование разработанных рабочих органов позволяет увеличить равномерность внесения удобрений на 17,6 %.

**Обсуждение и заключение.** В результате проведенных исследований доказана эффективность применения разработанного пневмоцентробежного рабочего органа, позволяющего увеличить равномерность распределения минеральных и известковых удобрений.

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, рабочий орган, равномерность внесения, кинетическая энергия, экспериментальный агрегат, характер распределения

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Повышение равномерности внесения минеральных и известковых удобрений / В. А. Овчинников [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34, № 1. С. 115–127. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.115-127>

© Овчинников В. А., Жалнин Н. А., Комолов А. Д., Зыкин Е. С., Тюрин И. Ю., 2024



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

## Increasing the Uniformity of Application of Mineral and Lime Fertilizers

V. A. Ovchinnikov<sup>a</sup>✉, N. A. Zhalnin<sup>a</sup>, A. D. Komolov<sup>a</sup>,  
E. S. Zykin<sup>b</sup>, I. Yu. Tyurin<sup>c</sup>

<sup>a</sup> National Research Mordovia State University  
(Saransk, Russian Federation)

<sup>b</sup> Ulyanovsk State Agrarian University  
(Ulyanovsk, Russian Federation)

<sup>c</sup> Saratov State Vavilov Agrarian University  
(Saratov, Russian Federation)

✉ ovchinnikovv81@yandex.ru

### Abstract

**Introduction.** Modern agricultural production is based on the use of resource-saving technologies for agricultural production. An important element of these technologies is the use of mineral fertilizers and special importance is given to the uniformity of applying them.

**Aim of the Study.** The study is aimed at improving the process of applying mineral and lime fertilizers through the development of a pneumatic centrifugal working body.

**Materials and Methods.** For the theoretical studies, there were used the principles of mathematics and theoretical mechanics. The experimental studies were carried out at the testing ground of the Institute of Mechanics and Energy of Mordovia State University. The quality assessment of the operation of the unit equipped with experimental working bodies was carried out in accordance with GOST 28714-2007.

**Results.** To better distribute mineral fertilizers of heterogeneous granulometric composition over the field surface, there has been proposed a working element, the operating principle of which is based on the total use of mechanical and pneumatic effects on the granules of the agricultural inputs. The use of the developed working bodies makes it possible to increase the uniformity of fertilizer application by 17.6%

**Discussion and Conclusion.** As a result of the conducted study, there has been proven the effectiveness of using the developed pneumocentrifugal working body, which makes it possible to increase the uniformity of distribution of mineral and lime fertilizers.

**Keywords:** mineral fertilizers, working body, uniformity of application, kinetic energy, experimental unit, pattern of distribution

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Ovchinnikov V.A., Zhalnin N.A., Komolov A.D., Zykin E.S., Tyurin I.Yu. Increasing the Uniformity of Application of Mineral and Lime Fertilizers. *Engineering Technologies and Systems*. 2024;34(1):115–127. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.115-127>

### Введение

Обеспечение населения продуктами питания во многом зависит от производства зерна, гарантирующего продовольственную безопасность страны<sup>1</sup>. Качество и объемы зерна, в свою очередь, зависят от большого количества технологических операций, производимых на всех стадиях его производства<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс] : Указ Президента РФ от 21 янв. 2020 г. № 20. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/45106> (дата обращения: 06.10.23).

<sup>2</sup> Полянская Н. А. Повышение экономической эффективности производства зерна на основе оптимизации использования ресурсов : дис. ... канд. экон. наук. Княгинино, 2012. 153 с.

На сегодняшний день внесение удобрений – одна из важнейших операций в передовых технологиях производства сельскохозяйственных культур, оказывающая влияние на качественные критерии получаемого урожая [1–3]. Необходимо также помнить, что внесение удобрений приводит к восстановлению плодородия почвы<sup>3</sup> [4–6]. Данный эффект весьма важен в вопросе сохранения и воспроизводства плодородия почв ввиду их деградации во многих регионах России<sup>4</sup> [7; 8].

Процесс внесения удобрений, как и иные операции, необходимо проводить в сжатые сроки, строго соблюдая агротехнические требования<sup>5</sup>.

В настоящее время по причине своей эффективности, удобства внесения и хранения наибольшее распространение получили минеральные удобрения<sup>6</sup>. К основным требованиям, предъявляемым к такого рода удобрениям, относятся их рассыпчатость, стойкость к слеживанию и гранулометрический состав [9].

По результатам исследований установлено [10–12], что в процессе внесения минеральных удобрений с разным гранулометрическим составом возрастает неравномерность их распределения по поверхности поля (рис. 1), что негативно сказывается на эффективности их применения.

Поэтому исследования, посвященные повышению равномерности внесения минеральных и известковых удобрений, являются актуальными и имеют важное научно-техническое и хозяйственное значение для агропромышленного комплекса страны.

### **Обзор литературы**

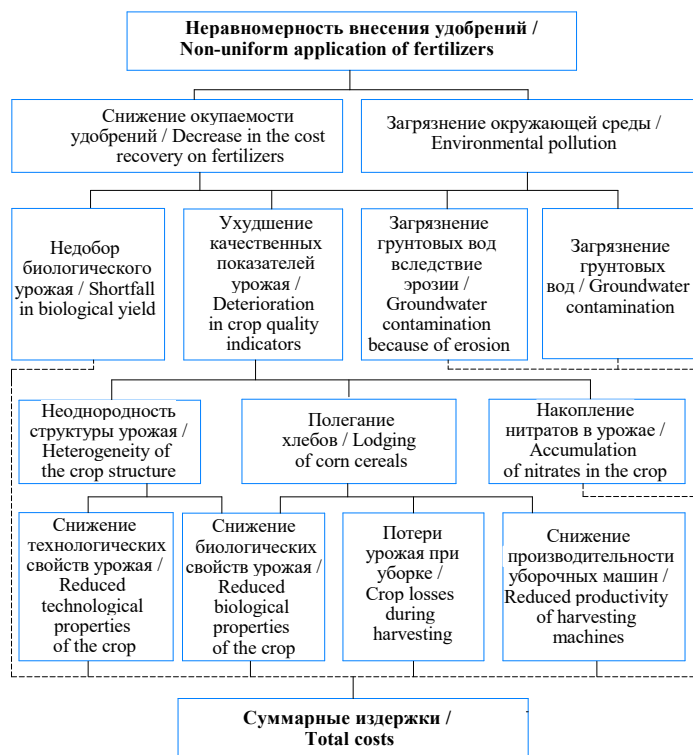
Для внесения минеральных удобрений применяют всевозможные разбрасыватели различной компоновки и оснащения. Объединяющим их элементом, как правило, является центробежный рабочий орган, совершенствованию конструктивно-технологических параметров которого уделяется особое внимание [13–19].

Как отмечают многие исследователи, рабочая ширина внесения и качество распределения удобрений зависят от высоты установки рабочего органа, его угловой скорости, углов размещения лопаток и их наклона относительно горизонта [18; 20]. Наиболее простым в реализации способом является изменение угловой скорости, однако доказано, что на высоких оборотах рабочего органа происходит повреждение частиц удобрений [15; 21].

Ряд других ученых, утверждая о невозможности предсказать траекторию движения частиц из-за их неправильной формы, исследовали место подачи удобрений на рабочий орган как основной фактор, оказывающий влияние на их распределение по поверхности поля [17].

---

<sup>3</sup> Токарев И. В. Анализ технических средств для внутрипочвенного внесения гранулированных минеральных удобрений // Молодой ученый. 2019. № 48 (286). С. 89–91. URL: <https://moluch.ru/archive/286/64412/> (дата обращения: 06.10.2023).



Р и с. 1. Суммарные издержки от неравномерного внесения минеральных удобрений  
F i g. 1. Total costs from non-uniform application of mineral fertilizers

Согласно мнению Кулешова В. М., для повышения качества внесения минеральных удобрений достаточно использовать концентрированные туки, обладающие высокими физико-механическими свойствами, с однородными по размеру частицами<sup>7</sup>.

Однако, по статистике, большая часть используемых в сельскохозяйственном производстве удобрений вследствие разных причин не соответствует вышеуказанным требованиям. Поэтому, по мнению ряда ученых, такие составы лучше вносить устройствами, оказывающими пневмомеханическое воздействие на частицы вносимого материала [10; 22].

### Материалы и методы

Из анализа литературных источников следует, что основными факторами, влияющими на процесс внесения минеральных удобрений, являются аэродинамические свойства гранул<sup>8</sup> и их масса. Так, при равных условиях более крупные частицы, сойдя с рабочего органа, совершают свободный полет в воздушной среде и летят дальше, чем мелкие (пылевидные), распределение которых происходит в непосредственной близости от исполнительного элемента (рабочего органа).

<sup>8</sup> Анализ аэродинамических свойств минеральных удобрений / Ю. Н. Роговская [и др.] // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. в 2 ч. Ч. 2. (24–25 октября 2019 г., г. Минск). Минск : БГАТУ, 2019. С. 84–85. URL: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/9564> (дата обращения: 06.10.2023).

Все это приводит не только к увеличению неравномерности внесения удобрений, но и к снижению производительности машин в связи с уменьшением рабочей ширины захвата агрегата<sup>9</sup>.

Если вносить удобрения, неоднородные по своей структуре, с использованием энергии воздушного потока, то дальность полета мелких частиц, по сравнению с крупными, обладающими большей массой, наоборот, увеличится.

Следовательно, для увеличения качества внесения минеральных удобрений с разным гранулометрическим составом необходима комбинация механического и пневматического воздействия на частицы вносимого материала [23].

На основании вышеизложенного нами разработана экспериментальная лабораторно-полевая установка (рис. 2), состоящая из бункера для минеральных и известковых удобрений 1, приводных элементов 2 и рабочего модуля, основными органами которого являются центробежный диск 3 и лопастной вентилятор 4, закрытый кожухом. Привод диска и лопастного вентилятора осуществляется от вала отбора мощности (ВОМ) трактора. Отличительной особенностью привода является то, что частота вращения диска и вентилятора различны благодаря наличию дополнительного редуктора.

Конструктивное решение исполнительного элемента, используемого в данной установке, подтверждено патентом РФ на полезную модель [24; 25].



Р и с. 2. Экспериментальная лабораторно-полевая установка:

1 – бункер; 2 – элементы привода; 3 – центробежный диск; 4 – лопастной вентилятор

F i g. 2. Experimental laboratory-field installation:

1 – bunker; 2 – drive elements; 3 – centrifugal disk; 4 – blade fan

Процесс работы экспериментальной установки протекает следующим образом.

<sup>9</sup> Седашкин А. Н., Костригин А. А., Милюшина Е. А. Пневмоцентробежный аппарат для внесения известковых удобрений // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (22 ноября 2019 г., г. Саранск). Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2018. С. 42–46. EDN: YUGDRR

На первом этапе удобрения из бункера самотеком подаются на вершину конуса центробежного рабочего органа и вдоль неё направляются к лопастям диска. На втором этапе в точке схода с диска частицы удобрений, получив некое ускорение, дополнительно подхватываются воздушным потоком, создаваемым лопастным вентилятором, и распределяются по поверхности поля. Скорость воздушного потока регулируется в зависимости от гранулометрического состава вносимого материала, но не ниже скорости схода частиц с плоского диска.

### Результаты исследования

Общая кинетическая энергия, сообщаемая частице в момент схода с центробежного рабочего органа, составит:

$$E_{\text{общ}} = E_{\text{ц.д.}} + E_{\text{в.п.}}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{ц.д.}}$  – кинетическая энергия центробежного диска, Дж;  $E_{\text{в.п.}}$  – кинетическая энергия воздушного потока, Дж.

На первом этапе перемещение частиц минеральных удобрений по рабочему органу происходит за счет кинетической энергии центробежного диска, которую можно представить в виде суммы двух движений: поступательного – со скоростью  $v_n$ , равной скорости центра инерции; и вращательного – с угловой скоростью  $\omega$  вокруг мгновенной оси, проходящей через центр инерции<sup>10</sup>:

$$E_{\text{ц.д.}} = \frac{mv_n^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}, \quad (2)$$

где  $J$  – момент инерции частицы относительно оси вращения, проходящей через его центр масс, кг/м<sup>2</sup>.

Учитывая, что

$$\omega = \frac{v_{\text{окр.}}}{R}, \quad (3)$$

где  $v_{\text{окр.}}$  – окружная скорость центробежного диска, м/с;  $R$  – радиус центробежного диска, м; выражение (2) примет вид:

$$E_{\text{ц.д.}} = \frac{mv_n^2}{2} + \frac{Jv_{\text{окр.}}^2}{2R^2}. \quad (4)$$

На втором этапе на частицы удобрений воздействует воздушный поток, который, как и любое движущееся тело, обладает кинетической энергией, равной

$$E_{\text{в.п.}} = \frac{\rho V v_{\text{в.п.}}^2 \kappa}{2}, \quad (5)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – объем воздушного потока, м<sup>3</sup>;  $v_{\text{в.п.}}$  – скорость воздушного потока, м/с;  $\kappa$  – поправочный коэффициент.

Значение поправочного коэффициента учета колебаний скорости воздушного

<sup>10</sup> Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики : Учеб. пособие для вузов. 4-е изд., испр. М. : Высшая школа, 2002. 718 с.



потока  $k$  определяют либо экспериментально, либо с помощью специальных ресурсов.

В итоге общая кинетическая энергия, сообщаемая частице при сходе с рабочего органа, будет равна

$$E_{\text{общ.}} = \frac{mv_n^2}{2} + \frac{Jv_{\text{окр.}}^2}{2R^2} + \frac{\rho V v_{\text{в.п.к.}}^2}{2}. \quad (6)$$

Из выражения (4) следует, что кинетическая энергия и, как следствие, дальность полета частиц минеральных удобрений зависят от абсолютной скорости  $v_a$  ( $\vec{v}_a = \vec{v}_n + \vec{v}_{\text{окр.}} + \vec{v}_{\text{в.п.к.}}$ ).

Предварительные испытания агрегата, оснащенного экспериментальным рабочим органом, проводили при симметричной схеме внесения удобрений согласно действующему ГОСТ 28714-2007<sup>11</sup>.

За неравномерность распределения удобрений на общей и рабочей ширине внесения принимали коэффициент вариации массы удобрений, попавшей в отдельные контейнеры размером  $1,00 \times 0,25 \times 0,15$  м, установленные на общую ширину в сплошной ряд перпендикулярно к направлению движения машинно-тракторного агрегата (рис. 3).



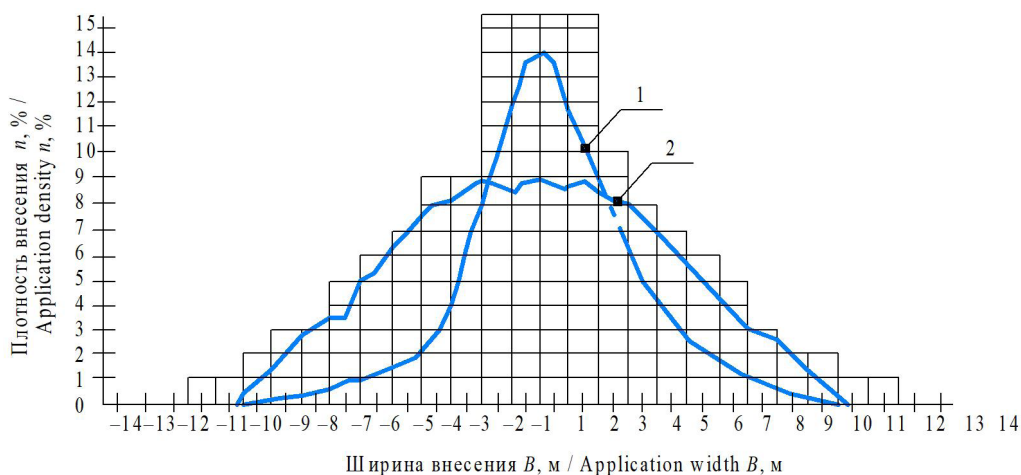
Р и с. 3. Фрагмент экспериментальных исследований

F i g. 3. Fragment of experimental studies

Результаты исследований (на примере внесения нитрофоски) представлены

<sup>11</sup> ГОСТ 28714-2007. Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний : дата введения 2009-01-01. М. : Стандартиформ, 2008. 39 с.

на рисунке 4.



Р и с. 4. Характер распределения нитрофоски:  
1 – серийный агрегат; 2 – экспериментальный агрегат

Fig. 4. The nature of the distribution of nitrophoska: 1 – serial unit; 2 – experimental unit

Исходя из результатов (рис. 4) предварительных исследований характера распределения нитрофоски экспериментальным агрегатом, делаем вывод: благодаря наличию воздушного потока произошло перераспределение части пылевидных частиц с центральной зоны к периферии.

### Обсуждение и заключение

В результате проведенных исследований обоснована конструкция пневмоцентробежного рабочего органа.

Использование разработанных пневмоцентробежных рабочих органов позволяет увеличить равномерность распределения минеральных и известковых удобрений за счет перераспределения части мелких частиц от центральной зоны к периферии. Благодаря данному факту, равномерность распределения повышается на 17,6 %. Рабочая ширина внесения при этом практически не меняется, так как по краям сектора рассева располагаются более крупные частицы, дальность полета которых зависит в основном от энергии, сообщаемой центробежным диском.

В зависимости от характеристик вносимого материала для достижения необходимого разгона частиц могут быть использованы различные комбинации конструктивно-технологических параметров как центробежного рабочего органа, так и лопастного вентилятора.

Таким образом, оснащение серийных машин для внесения минеральных удобрений разработанными пневмоцентробежными рабочими органами позволит расширить спектр их применения.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милюткин В. А., Овчинников В. А. Повышение урожайности и качества зерна озимой пшеницы за счет применения инновационных удобрений и сельхозмашин // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 1. С. 52–67. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.052-067>
2. Личман Г. И., Белых С. А., Марченко А. Н. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12, № 4. С. 4–9. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9>
3. Осипов А. И. Роль удобрений в плодородии почв и питании растений // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2020. Т. 15, № 2. С. 874–887. EDN: GCRYKZ
4. The Effect of Different Organic Fertilizers on Yield and Soil and Crop Nutrient Concentrations / C. L. Thomas [et al.] // Agronomy. 2019. Vol. 9, Issue 12. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120776>
5. Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>
6. Кирюшин В. И. Научные предпосылки оптимизации использования земельных ресурсов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 4. С. 7–10. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/7-10>
7. Иванов А. И. Инновационные приоритеты в развитии систем земледелия в России // Плодородие. 2011. № 4 (61). С. 2–6. EDN: NUSCSN
8. Сычев В. Г., Лунев М. И., Павлихина А. В. Современное состояние и динамика плодородия пахотных почв России // Плодородие. 2012. № 4 (67). С. 5–7. EDN: PEVAWH
9. Высоцкая Н. А. Основные физико-химические и структурно-механические свойства гранулированных минеральных удобрений // Горная механика и машиностроение. 2021. № 3. С. 59–65. EDN: YCFVEY
10. Седашкин А. Н., Костригин А. А., Драгунов А. В. Универсальный пневмоцентробежный рабочий орган для внесения мелиорантов // Сельский механизатор. 2018. № 1. С. 6–7. EDN: YRPGOU
11. Агрегат для внесения пылящихся известковых удобрений / А. Н. Седашкин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 6. С. 17–21. EDN: YUKBRJ
12. Разработка адаптивного центробежного рабочего органа для внесения минеральных удобрений с применением технологий быстрого прототипирования / В. А. Овчинников [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 2. С. 222–234. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.222-234>
13. Innovative Technologies and Equipment from “Amazone” Company for Fertilizer Application / V. Buxmann [et al.] // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 210. Article no. 04002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021004002>
14. Адамчук В. В., Моисеенко В. К. Технические средства нового поколения для посева минеральных удобрений // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. № 2. С. 15–19. URL: <http://www.avtomash.ru/gur/2004/20040207.htm> (дата обращения: 06.10.2023).
15. Овчинников В. А., Овчинникова А. В. Рабочий орган для внесения минеральных удобрений // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 2. С. 13–16. EDN: WDOWNB
16. Model for Simulation of Particle Flow on a Centrifugal Fertiliser Spreader / E. Dintwa [et al.] // Biosystems Engineering. 2004. Vol. 87, Issue 4. P. 407–415. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.12.009>
17. Kweon G., Grift T. E. Feed Gate Adaptation of a Spinner Spreader for Uniformity Control // Journal of Biosystems Engineering. 2006. Vol. 95, Issue 1. P. 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.05.003>
18. Analysis and Control of Uniformity by the Feed Gate Adaptation of a Granular Spreader / G. Kweon [et al.] // Journal of Biosystems Engineering. 2009. Vol. 34, Issue 2. P. 95–105. <https://doi.org/10.5307/JBE.2009.34.2.095>

19. Адаптивный пневмоцентробежный модуль к машинам для внесения минеральных и известковых удобрений / В. А. Овчинников [и др.] // Сельский механизатор. 2021. № 11. С. 8–9. EDN: [VISBRE](#)

20. Адамчук В. В. Теоретические исследования движения частиц удобрений по рассеивающему органу // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2003. № 12. С. 28–31.

21. Тенденции развития машин с центробежными рабочими органами для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений / Н. С. Панферов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2021. № 12 (294). С. 18–24. EDN: [VPGWSS](#)

22. Батурин В. А., Личман Г. И. Обоснование параметров пневмосистемы машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 6. С. 26–30.

23. Милюшина Е. А., Седашкин А. Н., Костригин А. А. Движение частиц удобрений, сходящих с пневмоцентробежного аппарата в режиме разгона // Сельский механизатор. 2022. № 2. С. 10–11. EDN: [ZEADYM](#)

24. Адаптивный пневмоцентробежный модуль машины для внесения минеральных и известковых удобрений : патент 217443 Российская Федерация / Овчинников В. А. [и др.]. № 2023101821 ; заявл. 27.01.2023 ; опубл. 31.03.2023. 5 с. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/f0/8b/bd/af4b48c1992ab6/RU217443U1.pdf> (дата обращения: 06.10.2023).

25. Пневмоцентробежный рабочий орган машины для внесения минеральных и известковых удобрений : патент 201318 Российская Федерация / В. А. Овчинников [и др.]. № 2020133322 ; заявл. 09.10.2020 ; опубл. 09.12.2020. 5 с. URL: [https://patents.s3.yandex.net/RU201318U1\\_20201209.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU201318U1_20201209.pdf) (дата обращения: 06.10.2023).

*Поступила в редакцию 07.11.2023; поступила после рецензирования 11.12.2023; принята к публикации 26.12.2023*

*Об авторах:*

**Овчинников Владимир Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0350-8478>, Researcher ID: [O-6834-2018](#), [ovchinnikovv81@yandex.ru](mailto:ovchinnikovv81@yandex.ru)

**Жалнин Николай Александрович**, преподаватель кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), ORCID: [orcid.org/0000-0003-4307-4619](https://orcid.org/0000-0003-4307-4619), Researcher ID: [AGD-2904-2022](#), [nik.zhalnin2015@yandex.ru](mailto:nik.zhalnin2015@yandex.ru)

**Комолов Артем Денисович**, аспирант кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0290-1553>, Researcher ID: [IAQ-9674-2023](#), [komoartyom@yandex.ru](mailto:komoartyom@yandex.ru)

**Зыкин Евгений Сергеевич**, директор Технологического института-филиала Ульяновского ГАУ (433511, Российская Федерация, г. Димитровград, ул. Куйбышева, д. 310), доктор технических наук, доцент, профессор кафедры агротехнологий, машин и безопасности жизнедеятельности Ульяновского ГАУ (432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4795-6865>, Researcher ID: [AAM-5482-2021](#), [evg-zykin@yandex.ru](mailto:evg-zykin@yandex.ru)

**Тюрин Игорь Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологий продуктов питания Вавиловского университета (410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8587-4422>, Researcher ID: [HIR-1337-2022](#), [ig.tyurin@yandex.ru](mailto:ig.tyurin@yandex.ru)

*Заявленный вклад авторов:*

В. А. Овчинников – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, формулирование выводов, доработка текста.

Н. А. Жалнин – литературный и патентный анализ, проведение лабораторных исследований, обработка результатов эксперимента, подготовка начального варианта текста и редактирование текста.

А. Д. Комолов – проведение лабораторных исследований, визуализация текста.

Е. С. Зыкин – критический анализ.

И. Ю. Тюрин – литературный и патентный анализ, обработка результатов исследований.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Milyutkin V.A., Ovchinnikov V.A. Increasing the Yield and Quality of Winter Wheat Grain Through the Use of Innovative Fertilizers and Agricultural Machinery. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(1):52–67. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.052-067>
2. Lichman G.I., Belykh S.A., Marchenko A.N. Methods of Applying Fertilizers in Precision Agriculture. *Agricultural Machines and Technologies*. 2018;12(4):4–9. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9>
3. Osipov A.I. The Role of Fertilizers in Soil Fertility and Plant Nutrition. *Zdorove – Osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya*. 2020;15(2):874–887. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: GCRYKZ
4. Thomas C.L., Acquah G.E., Whitmore A. P., McGrath S.P., Haefele S.M. The Effect of Different Organic Fertilizers on Yield and Soil and Crop Nutrient Concentrations. *Agronomy*. 2019;9(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy9120776>
5. Kiryushin V.I. The Management of Soil Fertility and Agroecosystem Productivity in Landscape Adaptive Agricultural Systems. *Pochvovedenie*. 2019;(9):1130–1139. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>
6. Kiryushin V.I. [Scientific Prerequisites for Optimizing the Use of Land Resources]. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2019(4):7–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/7-10>
7. Ivanov A.I. Innovative Priorities in the Development of Agriculture Systems in Russia. *Plodородie*. 2011;(4):2–6. (In Russ.) EDN: NUSCSN
8. Sychev V.G., Lunev M.I., Pavlikhina A.V. Current State and Dynamics of Arable Land Fertility in Russia. *Plodородie*. 2012(4):5–7. (In Russ.) EDN: PEVAWH
9. Vysotskaya N.A. Basic Physical-Chemical and Structural-Mechanical Properties of Granular Mineral Fertilizers. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie*. 2021;(3):59–65. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YCFVEY
10. Sedashkin A.N., Kostigrin A.A., Dragunov A.V. Universal Pneumatic Centrifugal Working Body for Introducing Ameliorants. *Selskiy Mechanizator*. 2018;(1):6–7. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YRPGOU
11. Sedashkin A.N., Mityushina E.A., Kostigrin A.A., Dragunov A.V. The Unit for Making Dusty Lime Fertilizers. *Tractory i selkhoz mashiny*. 2018;(6):17–21. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YUKBRJ
12. Ovchinnikov V.A., Kilmyashkin E.A., Knyazkov A.S., Ovchinnikova A.V., Zhaltin N.A., Zykin E.S. Development of an Adaptive Centrifugal Working Tool for Mineral Fertilization Using Rapid Prototyping Technologies. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(2):222–234. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.222-234>
13. Buxmann V., Meskhi B., Mozhovoy A., Rudoy D., Olshevskaya A. Innovative Technologies and Equipment from “Amazone” Company for Fertilizer Application. *E3S Web of Conferences*. 2020;210:04002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021004002>

14. Adamchuk V.V., Moiseenko V.K. [Technical Means of a New Generation for Applying Mineral Fertilizers]. *Traktory i selskohozyajstvennyye mashiny*. 2004;(2):15–19. Available at: <http://www.avtomash.ru/gur/2004/20040207.htm> (accessed 06.10.2023). (In Russ.)
15. Ovchinnikov V.A., Ovchinnikova A.V. The Working Body for the Application of Mineral Fertilizers. *Traktory i Selkhoz mashiny*. 2018(2):13–16. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: WDOWNB
16. Dintwa E., Van Liedekerke P., Olieslagers R., Tijssens E., Ramon H. Model for Simulation of Particle Flow on a Centrifugal Fertiliser Spreader. *Biosystems Engineering*. 2004. 87;(4):407–415. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.12.009>
17. Kweon G., Grift T.E. Feed Gate Adaptation of a Spinner Spreader for Uniformity Control. *Biosystems Engineering*. 2006;95(1):19–34. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.05.003>
18. Kweon G., Grift T.E., Miclet D. Analysis and Control of Uniformity by the Feed Gate Adaptation of a Granular Spreader. *Journal of Biosystems Engineering*. 2009;34(2):95–105. <https://doi.org/10.5307/JBE.2009.34.2.095>
19. Ovchinnikov V.A., Zhalnin N.A., Zhalnin A.A., Ovchinnikova A.V., Bazhanov D.V. Adaptive Pneumatic Centrifugal Module for Machines for Applying Mineral and Lime Fertilizers. *Selskiy mekhanizator*. 2021;(11):8–9. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: VISBRE
20. Adamchuk V.V. Theoretical studies of the movement of fertilizer particles along the scattering organ. *Traktory i selskohozyajstvennyye mashiny*. 2003. № 12. P. 28–31.
21. Panferov N.S., Teterin V.S., Mitrofanov S.V., Blagov D.A., Plekhanov, S.A., Sukhorukov D.G. Trends in the Development of Machines with Centrifugal Working Bodies for Surface Application of Solid Mineral Fertilizers. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;(12):18–24. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: VPGWSS
22. Baturin V.A., Lichman G.I. Justification of the Parameters of the Pneumatic System of the Machine for Differentiated Application of Mineral Fertilizers. *Agricultural Machines and Technologies*. 2011;(6):26–30.
23. Milyushina E.A., Sedashkin A.N., Kostrigin A.A. The Movement of Fertilizer Particles Coming Off the Pneumatic Center Machine in Acceleration Mode. *Selskiy mekhanizator*. 2022(2):10–11. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: ZEADYM
24. Ovchinnikov V.A., Zhalnin N.A., Zhalnin A.A., Ovchinnikova A.V., Kupryashkin V.V., Antipov Yu.A. [Adaptive Pneumatic Centrifugal Module of Machines for Applying Mineral and Lime Fertilizers]. Patent 217,443 Russian Federation. 2023 March 31. 5 p. Available at: [https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPM&DocNumber=217443&TypeFile=html](https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=217443&TypeFile=html) (accessed 06.10.2023). (In Russ.)
25. Ovchinnikov V.A., Zhalnin N.A., Sedashkin A.N., Ovchinnikova A.V. [Pneumatic Centrifugal Working Body of a Machine for Applying Mineral and Lime Fertilizers]. Patent 201,318 Russian Federation. 2020 December 09. 5 p. Available at: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPM&DocNumber=201318&TypeFile=html](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=201318&TypeFile=html) (accessed 06.10.2023). (In Russ.)

*Submitted 07.11.2023; revised 11.12.2023; accepted 26.12.2023*

*About the authors:*

**Vladimir A. Ovchinnikov**, Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor of the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: [orcid.org/0000-0003-0350-8478](https://orcid.org/0000-0003-0350-8478), Researcher ID: [O-6834-2018](https://orcid.org/0000-0003-0350-8478), [ovchinnikovv81@yandex.ru](mailto:ovchinnikovv81@yandex.ru)

**Nikolay A. Zhalnin**, Lecturer of the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: [orcid.org/0000-0003-4307-4619](https://orcid.org/0000-0003-4307-4619), Researcher ID: [AGD-2904-2022](https://orcid.org/0000-0003-4307-4619), [nik.zhalnin2015@yandex.ru](mailto:nik.zhalnin2015@yandex.ru)



**Artem D. Komolov**, Postgraduate Student of the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0290-1553>, Researcher ID: IAQ-9674-2023, [komoartyom@yandex.ru](mailto:komoartyom@yandex.ru)

**Evgeny S. Zykin**, Dr.Sci. (Engr.), Associate Professor, Director of the Technological Institute-Branch of Ulyanovsk State Agrarian University (310 Kuibyshev St., Dimitrovgrad 433511, Russian Federation), Professor of the Chair of Agrotechnologies, Machines and Life Safety, Ulyanovsk State Agrarian University (Novy Venets Boulevard, Ulyanovsk 1432017, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4795-6865>, Researcher ID: AAM-5482-2021, [evg-zykin@yandex.ru](mailto:evg-zykin@yandex.ru)

**Igor Yu. Tyurin**, Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor of the Chair of Food Technologies, Saratov State Vavilov Agrarian University (4, Structure 3 Prospekt im. Peter Stolypin, Saratov 410012, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8587-4422>, Researcher ID: HIR-1337-2022, [ig.tyurin@yandex.ru](mailto:ig.tyurin@yandex.ru)

*Authors contribution:*

V. A. Ovchinnikov – scientific guidance, formulation of the main concept of the study, formation of conclusions, revision of the text.

N. A. Zhalnin – literary and patent analysis, laboratory studies, processing of experimental results, preparation of the initial version of the text and text editing.

A. D. Komolov – laboratory research, text visualization.

E. S. Zykin – critical analysis.

I. Yu. Tyurin – literary and patent analysis, processing of research results.

*All authors have read and approved the final manuscript.*