УДК 621.333.5
DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-105128

Оригинальное исследование

Обоснование конструктивных параметров лопатки роторного рабочего органа разбрасывателя твёрдых удобрений

А.А. Шварц, И.В. Коротков

Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, Курск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В целях значительного повышения плодородия почвы, а также восполнения ее запасов микро-, мезо- и макроэлементов в сельскохозяйственном производстве применяют органические, минеральные, органоминеральные удобрения в гранулированной или порошковидной форме. Для рассева удобрений по поверхности поля производители сельхозтоваров применяют машины с рабочими органами центробежного типа на горизонтальной или вертикальной осях вращения. Во исполнение задачи сокращения затрат времени смены ряд исследователей считает целесообразным применение низкорамной конструкции машины для возможной ее загрузки напрямую из кузова самосвала. Для машин такой конструкции наиболее приемлемыми являются разбрасывающие рабочие органы роторного типа с лопатками на горизонтальной оси вращения.

Цель исследования. Статья посвящена обоснованию конструктивных параметров лопастей разбрасывающего рабочего органа роторного типа низкорамного кузовного разбрасывателя твердых минеральных и органоминеральных удобрений.

Методы. Теоретически обоснована длина рабочей поверхности лопатки ротора с горизонтальной осью вращения для наиболее равномерного распределения твердых удобрений. Приведен пример расчета длины лопасти такого устройства исходя из ранее установленных габаритных размеров разбрасывателя.

Результаты. На основании экспериментальных данных подтверждена целесообразность применения лопаток желобообразной формы длиной 110 мм. Установлены наиболее эффективные конструктивные параметры размеров лопастей ротора для рассева удобрений с учетом купирования возможных вариантов дробления гранул удобрений за счет недопущения их повторного обращения внутри кожуха ротора. Аргументирована актуальность исследований устройств с роторными рабочими органами на горизонтальных осях вращения.

Выводы. Предложены возможные перспективы предстоящих исследований и возможности дальнейшего совершенствования разбрасывателя гранулированных удобрений низкорамной конструкции.

Ключевые слова: *разбрасыватель; ротор; удобрения; лопасть; лопатка; внесение удобрений; коэффициент трения.*

Для цитирования:
Шварц А.А., Коротков И.В. Обоснование конструктивных параметров лопатки роторного рабочего органа разбрасывателя твердых удобрений // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89, № 2. С. 133–140. DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-105128

Рукопись получена: 19.03.2022 **Рукопись одобрена:** 15.04.2022 **Опубликована:** 15.05.2022

© Эко-Вектор, 2022
Лицензия CC BY-NC-ND 4.0

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-105128

Original study article

Justification of the design parameters of the blade of the rotary working body of the solid fertilizer spreader

Anatoly A. Shvarts, Ilya V. Korotkov

Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Organic, mineral and organomineral fertilizers in both granular and powder form are used in agricultural production in order to increase of soil fertility significantly, as well as to replenish soil reserves of micro-, meso- and macroelements. For fertilizer screening on a surface of a field, agricultural producers use machines with centrifugal-type working bodies which have horizontal or vertical rotation axis. In pursuance of the task of reducing the shift time consumption, a number of researchers find it reasonable to use a low-frame design of the machine to make direct loading of it from the dump truck body possible. For machines, having such design, rotary spreading working bodies with blades on a horizontal rotation axis are the most suitable.

AIMS: The article is concerned with the justification of the design parameters of the blades of the rotary spreading working body of the low-frame body spreader of solid mineral and organomineral fertilizers.

METHODS: The length of the working surface of the rotor blade with a horizontal rotation axis is justified theoretically for the most uniform distribution of solid fertilizers. An example of calculating the length of the blade of such a device based on the previously established overall dimensions of the spreader is given.

RESULTS: On the basis of experimental data, the expediency of using trough-shaped blades with a length of 110 mm was confirmed. The most effective design parameters of the dimensions of the rotor blades for screening fertilizers were established, taking into account the reduction of possible options for fertilizer granules crushing by means of preventing their recirculation inside the rotor casing. The relevance of research of devices with rotary working bodies on horizontal axes of rotation is argued.

CONCLUSIONS: Possible prospects for future research and the possibility of further improvement of the low-frame granular fertilizer spreader are proposed.

Keywords: *spreader; rotor; fertilizer; blade; fertilization; friction coefficient.*

Cite as:
Shvarts AA, Korotkov IV. Justification of the design parameters of the blade of the rotary working body of the solid fertilizer spreader. *Tractors and Agricultural Machinery.* 2022:89(2):133–140. DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-105128

Received: 19.03.2022 **Accepted:** 15.04.2022 **Published:** 15.05.2022

© Eco-Vector, 2022
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 license

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для поверхностного распределения удобрений в гранулированной и порошковидной форме производители сельхозтоваров применяют распределители удобрений прицепной или навесной конструкции с различными вариантами рабочих органов: центробежного с лопастями на вертикальной или горизонтальной осях вращения, маятникового или штангового исполнения [1]. Основными задачами исследований в области совершенствования машин для поверхностного внесения удобрений являются снижение показателей неравномерности распределения удобрений, увеличение ширины рассева, а также снижение затрат времени и труда на операцию внесения удобрений [2, 3].

Машины с центробежными рабочими органами, расположенными на горизонтальных осях вращения, не нашли широкого применения в серийном производстве, однако некоторые исследования [4–6] показывают целесообразность совершенствования и применения таких устройств для рассева удобрений. В частности, известен экспериментальный низкорамный разбрасыватель удобрений, разработанный профессором А.Н. Репетовым [7, 8]. Его преимуществом является низкорамная конструкция, которая позволяет осуществлять загрузку удобрений напрямую из кузова самосвала, что значительно сокращает затраты времени смены на операцию внесения удобрений. К тому же, ряд исследований в этой сфере показывает, что возможен значительный рост производительности устройств с разбрасывающими рабочими органами броскового типа при установке на вышеупомянутый разбрасыватель второго ротора для распределения удобрений в противоположном направлении [1, 9]. Конструкция лопастных рабочих органов показала свою эффективность [4], однако процесс движения частиц удобрений по лопаткам таких устройств, а также движения частиц после их вылета из барабана еще не исследован в полной мере.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обоснование является обоснование длин рабочих поверхностей желобообразных лопастей роторов с рабочими органами на горизонтальных осях вращения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе исследования работы двухроторной машины для внесения удобрений определялась длина рабочей поверхности лопастей разбрасывающего рабочего органа.

Рассмотрим движение частиц удобрений перед вылетом из роторного рабочего органа с горизонтальной осью вращения. На частицу в этом случае значительное влияние оказывают положение лопаток ротора, радиус ротора, а также длина рабочей поверхности лопаток.

Из конструктивных соображений, связанных с габаритными размерами машины по ширине, диаметр каждого из двух роторов двухбарабанного разбрасывателя удобрений не может быть больше 700 мм. Размеры выгрузного окна прямоугольного сечения, выполненного в боковой стенке кожуха ротора, приняты пропорционально соответствующим размерам ранее установленных для однобарабанного разбрасывателя с диаметром ротора 1080 мм. Таким образом, ширина выгрузного отверстия составила 110 мм, высота – 200 мм. Выгрузное отверстие расположено под углом $\alpha = 35°$ к горизонту (рис. 1).

Из рис. 1 следует, что угол поворота лопастей ротора за время выгрузки составляет $\omega t = 64,37° = 1,12$ рад. В работе Б.П. Беседина [4] установлен угол наклона лопастей к радиальному положению $\psi = 12°$ назад относительно направления вращения.

Согласно исследованиям М.Г. Догановского, Е.В. Козловского и В.В. Рядных [10], существует зависимость между углом поворота лопастей ротора за время выгрузки частиц удобрения, радиусом внешней кромки лопатки и длиной ее рабочей поверхности:

$$\omega t = \frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi}\ln\frac{2\cdot\left(r_0\cos\left(\varphi+\psi\right)+l_p\cos\varphi\right)}{r_0(1+\sin\varphi)\cos\left(\varphi+\psi\right)}, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вращения ротора, мин$^{-1}$; t – время движения лопатки ротора вдоль выгрузного окна; $\varphi = \mathrm{arctg}\left(f\right)$ – угол трения частицы о лопатку; r_0 – радиус внутренней кромки лопатки; l_p – длина рабочей поверхности лопатки.

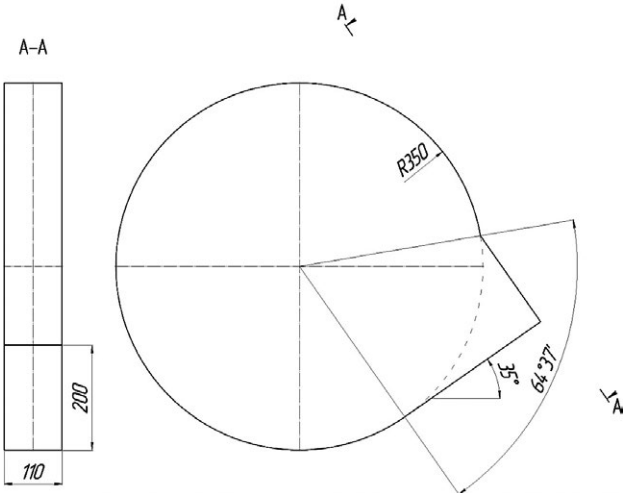

Рис. 1. Кожух ротора разбрасывателя гранулированных удобрений.

Fig. 1. Rotor cover of a granular fertilizer spreader.

Преобразуем уравнение (1):

$$\frac{2\cdot\left(r_0\cos\left(\varphi+\psi\right)+l_p\cos\varphi\right)}{r_0(1+\sin\varphi)\cos\left(\varphi+\psi\right)}=e^{\frac{\omega t(1-\sin\varphi)}{\cos\varphi}}.$$

Радиус внутренней кромки лопатки равен:

$$r_0=r-l_p. \quad (2)$$

Тогда

$$\frac{2\cdot\left(\left(r-l_p\right)\cos\left(\varphi+\psi\right)+l_p\cos\varphi\right)}{\left(r-l_p\right)(1+\sin\varphi)\cos\left(\varphi+\psi\right)}=e^{\frac{\omega t(1-\sin\varphi)}{\cos\varphi}}$$

или

$$\frac{2\cdot\left(r\cos\left(\varphi+\psi\right)-l_p\cos\left(\varphi+\psi\right)+l_p\cos\varphi\right)}{r\cos\left(\varphi+\psi\right)-l_p\cos\left(\varphi+\psi\right)+r\sin\varphi\cos\left(\varphi+\psi\right)-l_p\sin\varphi\cos\left(\varphi+\psi\right)}=e^{\frac{\omega t(1-\sin\varphi)}{\cos\varphi}}.$$

Следовательно,

$$2\cdot\left(r\cos\left(\varphi+\psi\right)-l_p\cos\left(\varphi+\psi\right)+l_p\cos\varphi\right)=$$
$$=e^{\frac{\omega t(1-\sin\varphi)}{\cos\varphi}}\left(r\cos\left(\varphi+\psi\right)-l_p\cos\left(\varphi+\psi\right)+r\sin\varphi\cos\left(\varphi+\psi\right)-l_p\sin\varphi\cos\left(\varphi+\psi\right)\right).$$

В результате

$$l_p\left(2\cos\varphi-2\cos\left(\varphi+\psi\right)+e^{\frac{\omega t(1-\sin\varphi)}{\cos\varphi}}\cdot\left(\cos\left(\varphi+\psi\right)+\sin\varphi\cos\left(\varphi+\psi\right)\right)\right)=$$
$$=e^{\frac{\omega t(1-\sin\varphi)}{\cos\varphi}}\cdot\left(r\cos\left(\varphi+\psi\right)+r\sin\varphi\cos\left(\varphi+\psi\right)\right)-2r\cos\left(\varphi+\psi\right).$$

Выразим l_p:

$$l_p=\frac{e^{\frac{\omega t(1-\sin\varphi)}{\cos\varphi}}\cdot\left(r\cos\left(\varphi+\psi\right)+r\sin\varphi\cos\left(\varphi+\psi\right)\right)-2r\cos\left(\varphi+\psi\right)}{2\cos\varphi-2\cos\left(\varphi+\psi\right)+e^{\frac{\omega t(1-\sin\varphi)}{\cos\varphi}}\cdot\left(\cos\left(\varphi+\psi\right)+\sin\varphi\cos\left(\varphi+\psi\right)\right)}. \quad (3)$$

Исследования [11] показывают, что коэффициент трения по металлу f гранул различных типов удобрений изменяется в пределах 0,31...0,55, а удобрений порошковидной формы по металлу – до 0,71 [12].

Исходя из работ [4, 13] принимаем количество лопастей разбрасывателя 6 штук. Таким образом, при $r_0=0,35$ м, $\psi=12^\circ=0,21$ рад, $\varphi=\operatorname{arctg}(f)=$ $=\operatorname{arctg}(0,31)=0,30$ рад, $\omega t=1,12$ рад длина рабочей поверхности лопатки составит $l_p=0,11$ м (рис. 2).

Примем значение угла трения $\varphi=\operatorname{arctg}(f)=$ $=\operatorname{arctg}(0,55)=0,50$ рад, что соответствует коэффициету трения гранулированного суперфосфата по металлу при неизменных значениях $r_0,\psi,\omega t$, тогда длина рабочей поверхности лопатки составит $l_p=0,096$ м. При применении порошковидной формы суперфосфата с коэффициентом трения $f=0,71$, $\varphi=\operatorname{arctg}(f)=$ $=\operatorname{arctg}(0,71)=0,62$ рад, длина рабочей поверхности лопатки составит $l_p=0,089$ м. При дальнейшем уменьшении длины лопатки работа разбрасывателя будет неэффективна. Следовательно, длина лопатки $l_p=0,11$ м обеспечит сход всех видов гранулированных и порошкообразных удобрений с коэффициентом трения более 0,31 с лопаток в границах выгрузного окна.

В работе [4] установлена эффективность применения лопаток желобообразной формы с точки зрения влияния лопаток такой формы на дальность полета частиц удобрений и плотность рассева.

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-105128

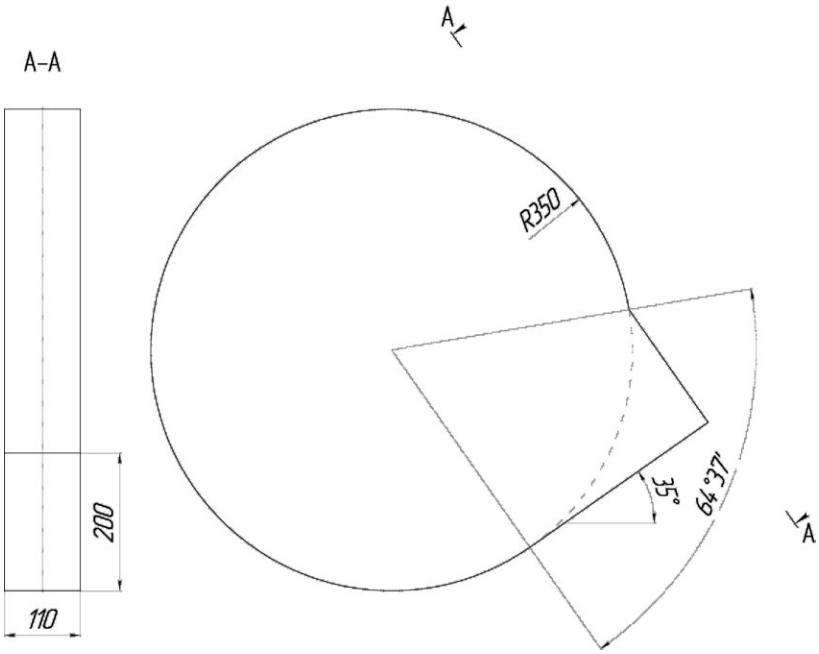

Рис. 2. Общий вид ротора разбрасывателя гранулированных удобрений.
Fig. 2. General view of the rotor of a granular fertilizer spreader.

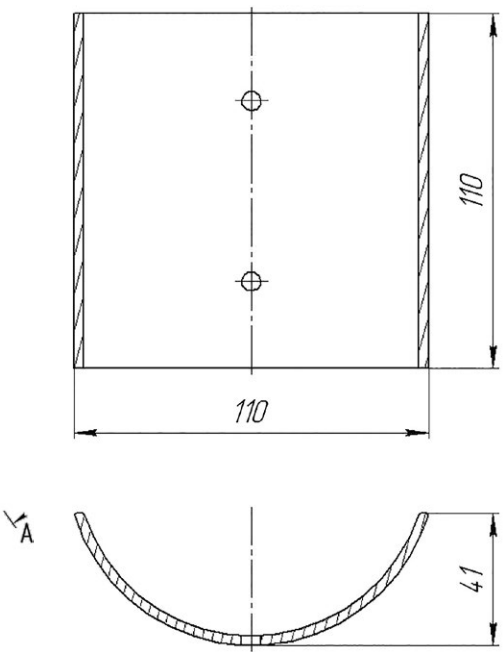

Рис. 3. Форма лопатки ротора.
Fig. 3. Shape of the rotor blade.

Таким образом, принимаем форму лопаток ротора квадратного сечения с длиной граней 110 мм, толщиной стенок 3 мм, высотой желоба 41 мм (рис. 3).

Крепятся лопатки такой формы посредством болтовых соединений к лопастям ротора.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С учетом вышеизложенного разработано устройство для поверхностного распределения удобрений. Конструкция экспериментального распределителя предполагает подачу вносимого материала к рабочим органам ленточным транспортером через загрузочное окно посредством шнека-питателя (рис. 4 и 5).

Ленточный транспортер, применяемый на разбрасывателе, двигается со скоростью 0,0008...0,013 м/с, что позволяет обеспечить дозу внесения удобрений в 0,1...2,0 т/га при ширине лопаток ротора 110 мм.

Разбрасыватель удобрений работает следующим образом: удобрения посредством ленточного

Рис. 4. Экспериментальный разбрасыватель твёрдых удобрений.
Fig. 4. The experimental solid fertilizer spreader.

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-105128

транспортёра через шнек-питатель поступают к лопастным рабочим органам. Лопастные рабочие органы вращаются в направлении выгрузных отверстий. Удобрения под воздействием вращающихся лопастей выбрасываются через выгрузные отверстия и осыпаются на поверхность поля.

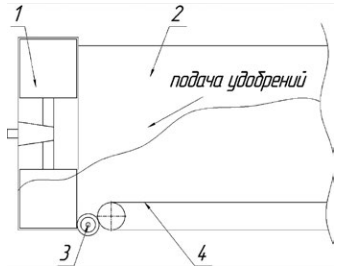

Рис. 5. Схема подачи удобрений к рабочим органам: *1* – роторы разбрасывателя гранулированных удобрений; *2* – кузов разбрасывателя; *3* – шнек-питатель; *4* – транспортер.
Fig. 5. Scheme of fertilizer supply to the working bodies: *1* – granular fertilizer spreader rotors; *2* – spreader body; *3* – feeding screw; *4* – conveyor.

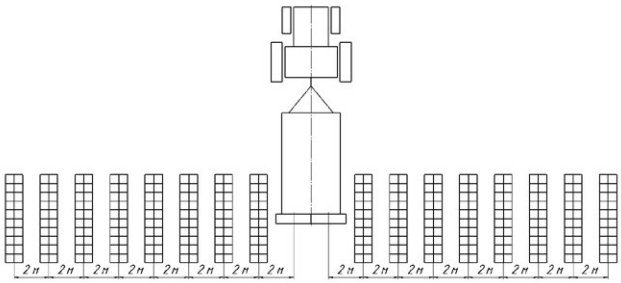

Рис. 6. Схема размещения пробоотборников при стационарном эксперименте.
Fig. 6. Layout of placement of samplers for a stationary experiment.

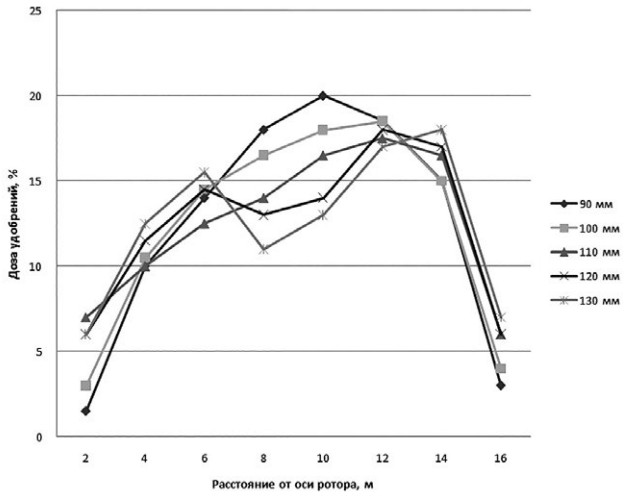

Рис. 7. Графики средних значений (в процентах) распределения удобрений при работе рабочих органов с лопастями длиной 90, 100, 110, 120 и 130 мм.
Fig. 7. Graphs of the average values (in percent) of the distribution of fertilizers during the operation of working bodies with blades length of 90, 100, 110, 120 and 130 mm.

Исследование процессов распределения гранулированных удобрений роторным рабочим органом проводилось по методике [14]. В соответствии с работой [15] определяются метеорологические условия испытаний, такие как скорость ветра, температура и относительная влажность воздуха.

Для определения дальности разброса гранулированных удобрений роторным рабочим органом с горизонтальной осью вращения проводились исследования машины на стационаре. Для этого расставили пробоотборники размером 0,5×0,5 м в 8 рядов каждые два метра от осей вращения роторов (рис. 6). Кузов машины был наполнен гранулированным карбамидом, коэффициент трения по металлу которого составляет 0,31.

Повторность опытов с каждым типом лопаток трехкратная. Исследована дальность и плотность рассева удобрений разбрасывающим рабочим органом. Были произведены исследования лопастей желобообразной формы различной длины (90 мм, 100 мм, 110 мм, 120 мм, 130 мм). Результаты исследований представлены на рис. 7.

Согласно графикам (см. рис. 7), при рассеве удобрений рабочими органами с лопастями длиной 90 и 100 мм наблюдается общая тенденция к низким значениям рассева удобрений вблизи разбрасывающего рабочего органа. При распределении удобрений лопастями длиной 120 и 130 мм намечается склонность к появлению наиболее неравномерного распределения удобрений по ширине. Эту зависимость связываем с возможным сгруживанием материала в нижней части разбрасывающего рабочего органа ввиду перемещения вносимых удобрений внутри кожуха на второй круг.

Наиболее равномерное распределение удобрений получается при внесении их роторным рабочим органом с лопастями длиной 110 мм. При этом наблюдается общая для всех вариантов тенденция к наиболее плотному потоку материала ближе к краю распределения относительно центра полосы рассева (на расстоянии 12–14 м от оси вращения ротора). Наименьшая доза удобрений во всех рассматриваемых случаях оказалась в непосредственной близости к машине, а также за выраженным пиком дозы внесения (на расстоянии более 14 м от оси вращения ротора).

ВЫВОДЫ

В результате теоретических исследований и экспериментальных испытаний было установлено, что рассев гранулированного карбамида с коэффициентом трения гранул по металлу 0,31 наиболее эффективен при длине жёлобообразных лопаток длиной 110 мм при диаметре ротора 700 мм.

Равномерность распределения удобрений в этом случае на участке от 6 до 14 м от оси вращения ротора

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-105128

составила не более 19%, что соответствует агротехническим требованиям для внесения удобрений [16]. Однако на участке от 0 до 6 м от оси вращения ротора равномерность внесения удобрений ниже, чем предполагается агротехническими требованиями. К тому же, при установке на разбрасыватель двух роторов, разбрасывающих удобрения в противоположных друг другу направлениях, полоса под машиной (между осями вращения роторов) останется практически незасеянной. Для решения этой проблемы предполагаем установку между роторами дополнительного разбрасывающего устройства, обоснование применения и конструктивных особенностей которого являются перспективой и целью наших дальнейших исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. *А.А. Шварц* – редактирование текста рукописи, утверждение финальной версии; *И.В. Коротков* – поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, создание изображений.

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследований и подготовку статьи).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследований.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. *A.A. Shvartsv* – editing the text of the manuscript, approval of the final version; *I.V. Korotkov* – search for publications, writing the text of the manuscript, creating images. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work. All authors certify that they meet the *ICMJE* international criteria for authorship

Competing interests. The authors declare no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. Authors state that this research was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шварц А.А., Шварц С.А., Коротков И.В. Анализ конструкций рабочих органов и разбрасывателей гранулированных удобрений // Наука в центральной России. 2021. № 1. С. 12–22.

2. Шварц А.А., Коротков И.В., Ветров И.Ю. Пути повышения эффективности использования низкорамного разбрасывателя удобрений. / Современные ресурсоэффективные технологии и технические средства в АПК. Курск, 2021. С. 60–65.

3. Забродин В.П., Понамаренко И.Г. Оценка качества распределения минеральных удобрений по поверхности поля // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2003. № 12. С. 12–14.

4. Беседин Б.П. Исследование параметров роторного рабочего органа разбрасывателя органо-минеральных удобрений: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2017. Режим доступа: https://rosinformagrotech.ru/files/synopsis/Besedin_B_P_2017.pdf Дата обращения: 18.16.2022.

5. Шерстов С.А. Обоснование параметров аппарата для внесения минеральных удобрений одновременно с обработкой почвы: дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 2019 Режим доступа: http://ачгаа.рф/files/sovettn/sherstov/avtoref33.pdf Дата обращения: 18.16.2022.

6. Шварц А.А., Коротков И.В. Влияние рабочих органов роторного разбрасывателя на дальность полёта частиц удобрения // Международная научно-практическая конференция "Тенденции развития технических средств и технологий в АПК"; 25 февраля, 2021; Воронеж. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=44897501 Дата обращения 18.06.2022.

7. Репетов А.Н. Низкорамная машина для внесения минеральных удобрений // Тракторы и сельхозмашины. 1997. № 8. С. 10–11.

8. Лепшеев О.М. Обоснование конструктивно-режимных параметров низкорамной машины для внесения минеральных удобрений: дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 1998.

9. Shvarts A.A., Shvarts S.A., Korotkov I.V.. Theoretical prerequisites for improving the body low loader granular fertilizer spreader// International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2021); 2021 Oct 27. Available from: https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700073

10. Догановский М.Г., Козловский Е.В. Рядных В.В. Выбор места подачи удобрений на бросковый механизм // Тракторы и сельхозмашины. 1968. № 4. С. 33–36.

11. Щербаков А.М. Коэффициенты внешнего и внутреннего трения минеральных удобрений // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1965. № 5.

12. Черноволов В.А., Ужахов Т.М. Моделирование процессов распределения минеральных удобрений центробежными аппаратами [интернет]. Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА. 2010. Режим доступа: http://ачгаа.рф/files/OPOP/m2010chernovolov.pdf Дата обращения: 18.06.2022.

13. Красников В.В. Подъемно-транспортные машины. Москва: Колос, 1981.

14. Василенко В.В. Работа в поле и контроль качества распределения удобрений. Расчет рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин. Воронеж: Истоки, 2004.

15. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. Режим доступа: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293788/4293788522.pdf Дата обращения: 18.06.2022.

16. Гаспарян И.Н., Сычев В.Г., Мельников А.В., Горохов С.А. Основы производства продукции растениеводства. Санкт-Петербург: Издательство «Лань» (Санкт-Петербург), 2021.

REFERENCES

1. Shvarts AA, Shvarts SA, Korotkov IV. Analysis of structures of working bodies of granulated fertilizer spreaders. *Science in the central Russia.* 2021;(1):12–22. (In Russ).

2. Shvarts AA, Korotkov IV, Vetrov IYu. Analysis of structures of working bodies of granulated fertilizer spreaders. *Sovremennye resursoeffektivnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva v APK.* 2021:60–65. (In Russ).

3. Zabrodin VP, Ponamarenko IG. Otsenka kachestva raspredeleniya mineral'nykh udobrenii po poverkhnosti polya. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva.* 2003(12):12–14. (In Russ).

4. Besedin BP. *Issledovanie parametrov rotornogo rabochego organa razbrasyvatelya organo-mineral'nykh udobrenii* [dissertation]. Kursk; 2017. Available from: https://rosinformagrotech.ru/files/synopsis/Besedin_B_P_2017.pdf (In Russ).

5. Sherstov SA. *Obosnovanie parametrov apparata dlya vneseniya mineral'nykh udobrenii odnovremenno s obrabotkoi pochvy* [dissertation]. Zernograd; 2019. Available from: http://ачгаа.рф/files/sovettn/sherstov/avtoref33.pdf (In Russ).

6. Shvarts AA, Korotkov IV. Vliyanie rabochikh organov rotornogo razbrasyvatelya na dal'nost' poleta chastits udobreniya // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Tendentsii razvitiya tekhnicheskikh sredstv i tekhnologii v APK"; 25 fevralya, 2021; Voronezh. Available from: https://elibrary.ru/item.asp?id=44897501 (In Russ).

7. Repetov AN. Nizkoramnaya mashina dlya vneseniya mineral'nykh udobrenii. *Traktory i sel'khozmashiny.* 1997;(8):10–11. (In Russ).

8. Lepsheev OM. *Obosnovanie konstruktivno-rezhimnykh parametrov nizkoramnoi mashiny dlya vneseniya mineral'nykh udobrenii* [dissertation] Belgorod; 1998. (In Russ).

9. Shvarts AA, Shvarts SA, Korotkov IV, et al. Theoretical prerequisites for improving the body low loader granular fertilizer spreader // International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2021); 2021 Oct 27. Available from: https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700073

10. Doganovskii MG, Kozlovskii EV, Ryadnykh VV. Vybor mesta podachi udobrenii na broskovyi mekhanizm. *Traktory i sel'khozmashiny.* 1968;(4):33–36 (In Russ).

11. Shcherbakov AM. Koeffitsienty vneshnego i vnutrennego treniya mineral'nykh udobrenii. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo sel'skogo khozyaistva.* 1965:5. (In Russ).

12. Chernovolov VA, Uzhakhov TM. *Modelirovanie protsessov raspredeleniya mineral'nykh udobrenii tsentrobezhnymi apparatami* [Internet]. Zernograd: FGBOU VPO AChGAA. 2010. Available from: http://achgaa.rf/files/OPOP/m2010chernovolov.pdf

13. Krasnikov VV. *Pod"emno-transportnye mashiny.* Moscow: Kolos; 1981. (In Russ).

14. Vasilenko VV. *Rabota v pole i kontrol' kachestva raspredeleniya udobrenii. Raschet rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh i posevnykh mashin.* Voronezh: Istoki; 2004.

15. GOST 20915-2011. Ispytaniya sel'skokhozyaistvennoi tekhniki. Metody opredeleniya uslovii ispytanii. Available from: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293788/4293788522.pdf (In Russ).

16. Gasparyan IN, Sychev VG, Mel'nikov AV, Gorokhov SA. *Osnovy proizvodstva produktsii rastenievodstva.* Saint Petersburg: Izdatel'stvo "Lan'" (Sankt-Peterburg); 2021. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

***Коротков Илья Владимирович,**
аспирант по направлению «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»;
адрес: 305021, Курск, улица Карла Маркса, дом 70;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9509-3534;
eLibrary SPIN: 5995-1628;
e-mail: koro7kov@yandex.ru

Шварц Анатолий Адольфович,
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор кафедры стандартизации и оборудования перерабатывающих производств;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6275-5666;
eLibrary SPIN: 7263-9190;
e-mail: shwarz@internet.ru

***Автор для переписки**

AUTHORS' INFO

***Ilya V. Korotkov,**
Postgraduate in "Technologies and Resources for Mechanization in Agriculture";
address: 70 Karla Marx street, Kursk, 305021, Russia;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9509-3534;
eLibrary SPIN: 5995-1628;
e-mail: koro7kov@yandex.ru

Anatoly A. Shvarts,
Dr. Sci. (Agricult.),
Professor of the Standardization and Equipment of Processing Industries Department;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6275-5666;
eLibrary SPIN: 7263-9190;
e-mail: shwarz@internet.ru

*** Corresponding author**