Тип статьи: научная
УДК 631.331.8
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-63-71

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ПУНКТИРНО–ГНЕЗДОВОГО СПОСОБА ПОСЕВА

Сергей Петрович Стрыгин [1], Никита Юрьевич Пустоваров [2], Сабина Гумаровна Хайруллина [3], Виктория Викторовна Конкина [4], Александр Сергеевич Заводнов [5]
[1, 2] Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[3] Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск, Казахстан
[1,4, 5] Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия
[1]sew1982@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7934-1673,
[2]nikita.pustovarov@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-0330-1150,
[3]hsg1988@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8492-2322,
[4]konkina-tstu@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0006-7366-7182,
[5]qzavodnov@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Сергей Петрович Стрыгин, sew1982@gmail.com
Corresponding author: Sergei Strygin, sew1982@gmail.com

Реферат. *Ключевыми факторами, влияющими на урожайность, являются способ посева, соблюдение заданной норма высева и точность размещения семян на поверхности поля. Одним из перспективных способов посева является пунктирно-гнездовой, при его использовании расстояние между семенами в ряду изначально различается, и математическое ожидание этого расстояния отлично от нуля, что ограничивает применение коэффициента вариации как индикатора качества работы сеялки. Цель исследования – определение метода оценки качественных показателей работы высевающего аппарата при пунктирно-гнездовом способе посева. Высевающие диски со следующими конструктивными параметрами: количество отверстий высевающего диска – 54 шт., количество отверстий в группе – 3 шт., угол между отверстиями в группе – α=5°, угол между группами – β=10° были изготовлены для экспериментальных исследований. Частота вращения высевающего диска варьировалась от 15 об/мин до 60 об/мин. использовались: Общий и динамический коэффициенты вариации, точность использовали для определения критерия оценки качества пунктирно-гнездового способа посева. При определении динамического коэффициента вариации производился расчет через каждые 200 семян, что с учетом нормы высева (20 шт./м) соответствует 10 метрам пути, пройденных посевным агрегатом, полученные значения сравнивались с теоретическим (0,355). Точность пунктирно-гнездового способа посева определялась подсчетом количества семян в группе, расстоянием между семенами и расстоянием до следующей группы семян. Если количество семян не соответствовало заданному (k=3) или интервал между семенами превышал стандартную ошибку, то данная группа семян отбраковывалась. Точность рассчитывалась как процентное отношение «правильных гнезд» к их общему количеству. Общий коэффициент вариации не превысил 2,9 % по сравнению с теоретическим. Однако, рассматривая изменение коэффициента вариации в динамике, получили, что разница между теоретическим и экспериментальным достигает максимума в 3,2 % при 15 об/мин и 7,9 % при 40 об/мин. Тенденция к увеличению коэффициента вариации и снижению точности пунктирно-гнездового посева с возрастанием частоты вращения высевающего диска наблюдалась во всех исследуемых вариантах*.

Ключевые слова: *датчик высева, коэффициент вариации, пунктирно-гнездовой высев, сбрасыватель семян, соя, точность высева*.

INVESTIGATION OF QUALITATIVE INDICATORS OF EVALUATION OF DOTTED–NEST SOWING METHOD

Sergei Strygin [1], Nikita Pustovarov [2], Sabina Khairullina [3], Victoria Konkina [4], Alexander Zavodnov [5]

[1, 2] All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russia

[3] Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, Uralsk, Kazakhstan

[1, 4, 5] Tambov State Technical University, Tambov, Russia

[1]sew1982@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7934-1673,
[2]nikita.pustovarov@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-0330-1150,
[3]hsg1988@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8492-2322,
[4]konkina-tstu@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0006-7366-7182,
[5]qzavodnov@yandex.ru

Abstract. *The key factors influencing the yield are the method of sowing, adherence to the set seeding rate and the accuracy of seed placement on the field surface. One of the promising sowing methods is dotted-nesting, when using it, the distance between seeds in a row initially differs, and the mathematical expectation of this distance is different from zero, which limits the use of the coefficient of variation as an indicator of the quality of the seeder. The purpose of the study is to determine the method for assessing the quality indicators of the operation of the sowing machine with the dotted-nested sowing method. Seeding discs with the following design parameters: the number of holes in the seeding disc - 54 pieces, the number of holes in the group - 3 pieces, the angle between the holes in the group - α=5°, the angle between the groups - β=10° were made for experimental studies. The rotational speed of the sowing disc varied from 15 rpm to 60 rpm. used: General and dynamic coefficients of variation, accuracy was used to determine the criterion for assessing the quality of the dotted-nested method of sowing. When determining the dynamic coefficient of variation, a calculation was made every 200 seeds, which, taking into account the seeding rate (20 pcs./m), corresponds to 10 meters of the path traveled by the sowing unit, the obtained values were compared with the theoretical one (0.355). The accuracy of the dotted-nested sowing method was determined by counting the number of seeds in a group, the distance between seeds and the distance to the next group of seeds. If the number of seeds did not correspond to the specified one (k=3) or the interval between seeds exceeded the standard error, then this group of seeds was rejected. Accuracy was calculated as a percentage of "correct nests" to their total number. The overall coefficient of variation did not exceed 2.9% compared to the theoretical one. However, considering the change in the coefficient of variation in dynamics, we found that the difference between theoretical and experimental reaches a maximum of 3.2% at 15 rpm and 7.9% at 40 rpm. The trend towards an increase in the coefficient of variation and a decrease in the accuracy of dotted-nested sowing with an increase in the frequency of rotation of the sowing disk was observed in all the studied variants.*

Keywords: *coefficient of variation, dotted-nest sowing, seeding accuracy, seed dumper, seeding sensor, soy.*

Для цитирования: Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Хайруллина С.Г., Конкина В.В., Заводнов А.С. Исследование качественных показателей оценки пунктирно–гнездового способа посева // Наука в Центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 63-71. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-63-71.

For citation: Strygin S., Pustovarov N., Khairullina S., Konkina V., Zavodnov A. Investigation of qualitative indicators of evaluation of dotted–nest sowing method. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 63-71. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-63-71.

Введение. Один из наиболее перспективных способов посева представляет собой широкорядный пунктирно-гнездовой, при котором семена распределяются группами по несколько штук вместо традиционных сплошных рядов [1]. Этот метод обеспечивает лучшее освещение, способствующее более полному развитию корневой системы и надземных частей растений, что, в

свою очередь, способствует укреплению нижних бобов на растениях и снижению потерь при уборке [2]. Такой способ также упрощает механизированную обработку полей и требует меньше семян на единицу площади, а также меньше средств для предпосевной обработки. [3]

Равномерное размещение семян вдоль посевных рядов является ключевым условием оптимального использования питательных ресурсов каждым растением. Это обеспечивает максимальный урожай [4, 5].

Однако при проведении пунктирно-гнездового посева наблюдается инверсия семян, при которой семена не всегда высеваются в ожидаемом порядке из-за дефектов в механизме высева. Данное явление проявляется в образовании отрицательных интервалов между семенами [4]. Качество посева может быть оценено с помощью коэффициента вариации интервалов между семенами. Высокий коэффициент вариации указывает на плохое качество работы высевающего аппарата и его эксплуатационных условий. При равномерном высеве с одинаковыми интервалами между семенами коэффициент вариации стремится к нулю. Значение коэффициента вариации менее или равное 0,33 говорит о точности высева, соответствующей агротехническим требованиям [6].

При использовании пунктирно-гнездового способа посева расстояние между семенами в ряду изначально различается, и математическое ожидание этого расстояния отлично от нуля. Этот факт ограничивает применение коэффициента вариации как индикатора качества работы сеялки при данном способе посева [7]. Так как при данном способе теоретический коэффициент вариации, изначально, выше 0,33, что может вызвать затруднение в понимании у производственников и у специалистов в области посева.

Для эффективного автоматического контроля за процессом высева необходимо точно регистрировать момент прохождения семян через датчик или оптическую систему [8]. Правильное определение временных интервалов взаимодействия семян и датчика является существенным элементом для точной оценки регистрации семян в процессе исследования высевающих аппаратов.

Цель исследования – определение метода оценки качественных показателей работы высевающего аппарата при пунктирно-гнездовом способе посева.

Материалы и методы. Для проведения лабораторных исследований по определению качественных показателей работы пунктирно-гнездового высевающего аппарата применялась экспериментальная установка, изображенная на рисунке 1. Для вращения высевающего диска применялся электродвигатель FL86BLS71, блок управления BLSD-50, импульсный источник питания SDR-960-48. Управление частотой вращения высевающего диска осуществлялось через персональный компьютер с помощью разработанного программного обеспечения [9, 10].

а) общий вид исследовательского стенда б) процесс пунктирно-гнездового высева

Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследования высевающего аппарата

Согласно ранее проведенным исследованиям [11, 12], для дальнейших экспериментов были изготовлены высевающие диски со следующими конструктивными параметрами: количество отверстий высевающего диска – N=54 шт., количество отверстий в группе – k=3 шт., угол между отверстиями в группе – α=5°, угол между группами – β=10°, диаметр отверстий $d_{отв}$ варьировался от 3,5 мм до 5 мм с шагом 0,5 мм (рисунок 2).

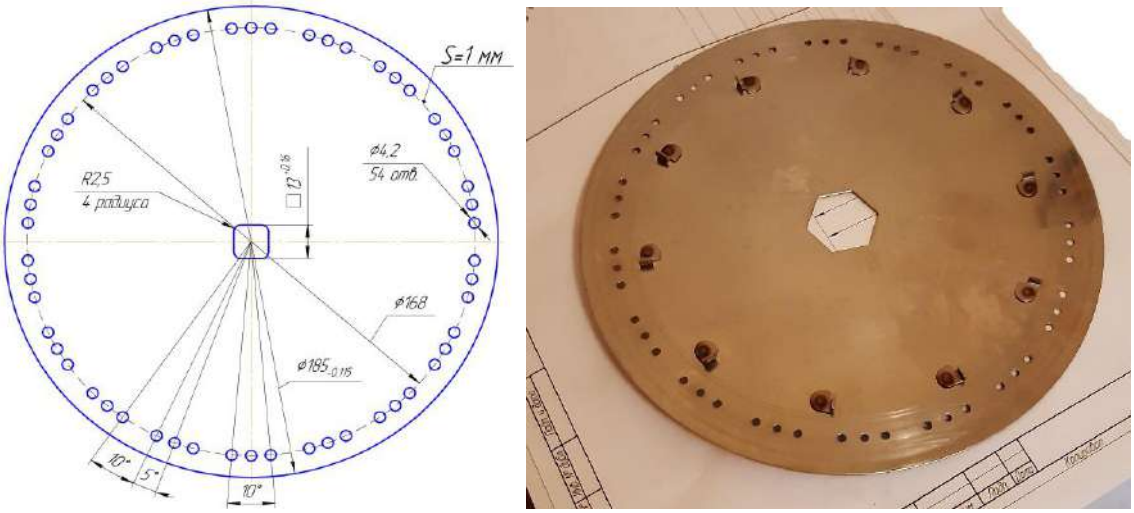

Рисунок 2 – Высевающий диск для пунктирно–гнездового посева семян сои

Частота вращения высевающего диска варьировалась от 15 об/мин до 60 об/мин с шагом 5 об/мин повторность опытов трехкратная. В качестве посевного материала использовали сою сортов «Аляска» и «Лиссабон» различных фракций.

В ходе лабораторных экспериментов было проведено измерение времени прохождения семян через чувствительные элементы датчика по миллисекундной шкале точности. Общее время пролета ($T_{общ}$) семени через датчик (рисунок 3) определялось как время пролета одного семени (T_1) и время между семенами (T_2). Полученные данные были занесены в log-файлы и визуализированы в виде графика. Графические данные были сохранены на компьютере и обработаны при помощи математической статистики с использованием программных средств, таких как Mathcad, Microsoft Excel и Python. [13]

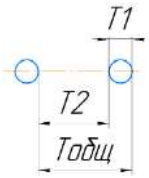

Рисунок 3 – Схема определения времени пролета семян через датчик высева

Время отрыва семян от диска высевающего аппарата зависит от частоты вращения и угла размещения отверстий на высевающем диске и определялось по следующей формуле:

$$T = \frac{\Omega^{\circ}}{6 \cdot n}, \quad (1)$$

где **Ω** - угол между отверстиями высевающего диска, º;

n – частота вращения высевающего диска, об/мин.

Теоретические значения сравнивались с экспериментальными, определялся коэффициент вариации и давалось заключение о работе высевающих аппаратов.

При конструктивных параметрах высевающего диска, когда $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{1}{2}$ коэффициент вариации распределения семян пунктирно-гнездового способа высева стремится к 0,355.

Для определения критерия оценки качества пунктирно-гнездового способа посева использовались: общий коэффициент вариации, динамический коэффициент вариации и точность.

При определении общего коэффициента вариации обрабатывался целиком log-файл с результатами работы высевающего аппарата, рассчитывался экспериментальный коэффициент вариации и сравнивался с теоретическим (0,355).

При динамическом коэффициенте вариации расчет производился через каждые 200 шт. семян, что с учетом нормы высева (20 шт./м) соответствует 10 метрам пути, пройденных посевным агрегатом, полученные значения сравнивались с теоретическим (0,355).

Точность пунктирно-гнездового способа посева определялась с учетом агротребований, предъявляемых к сеялкам точного высева (ГОСТ 31345–2017), контролировалось количество семян в группе, расстояние между семенами в группе и расстояние до следующей группы семян. Если количество семян не соответствовало заданному (k=3) или интервал между семенами отклонялся от одной стандартной ошибки, то данная группа семян отбраковывалась. Точность рассчитывалась как процентное отношение «правильных гнезд» к их общему количеству.

Для обработки результатов применялось программное обеспечение, предназначенное для оценки неравномерности распределения семян высевающими аппаратами сеялок точного высева. В качестве входных данных служат log-файлы результатов испытаний высевающих аппаратов на различных режимах работы. Программа позволяет определить различные параметры качества работы высевающего аппарата, включая количество двойников, пропусков и дробленых семян на основании времени взаимодействия посевного материала с датчиком высева. [9, 10]

Результаты и их обсуждения. В таблице 1 значения времени пролета между семенами через датчик высева в зависимости от скорости и угла расположения отверстий.

Таблица 1 – Теоретические значения времени пролета семян в зависимости от конструктивно-технологических параметров высевающего аппарата

Частота вращения высевающего диска, об/мин	Время пролета семян, мс	
	α=5º	β=10º
15	56	112
20	42	84
25	33	66
30	28	56
35	28	56
40	21	42
45	18	36
50	16	33
55	15	30
60	14	28

По результатам опытов установлено, что с увеличением частоты вращения высевающего диска более 40 об/мин и увеличения центробежной силы, разряжения в вакуумной камере недостаточно в следствии чего высев прекращался.

На рисунке 4 представлены графики изменения коэффициента вариации временных интервалов сои сорта «Аляска» фракция 5–5,5.

Как видно из графиков рисунка 4 общий коэффициент вариации не превышает 2,9 % по сравнению с теоретическим (0,37 при 15 об/мин и 0,384 при 40 об/мин), однако, рассматривая изменение коэффициента вариации в динамике, разница между теоретическим и экспериментальным достигает максимума в 3,2 % при 15 об/мин и 7,9 % при 40 об/мин. При частоте вращения в 15 об/мин коэффициент вариации принимал минимальное значение равное

0,36 и максимальное – 0,387. При частоте вращения 40 об/мин принимал минимальное значение равное 0,349, а максимальное – 0,434.

Данная тенденция к увеличению разницы между теоретическим и экспериментальным коэффициентом вариации с возрастанием частоты вращения высевающего диска наблюдалась во всех исследуемых вариантах.

а) частота вращения высевающего диска 15 об/мин

б) частота вращения высевающего диска 40 об/мин

Рисунок 4 – Изменение коэффициент вариации временных интервалов при пунктирно-гнездовом способе посева

На рисунке 5 представлены результаты определения точности пунктирно-гнездового способа посева в зависимости от частоты вращения высевающего диска и общего коэффициента вариации (соя «Аляска» фракция 5–5,5, $d_{отв}$=4 мм).

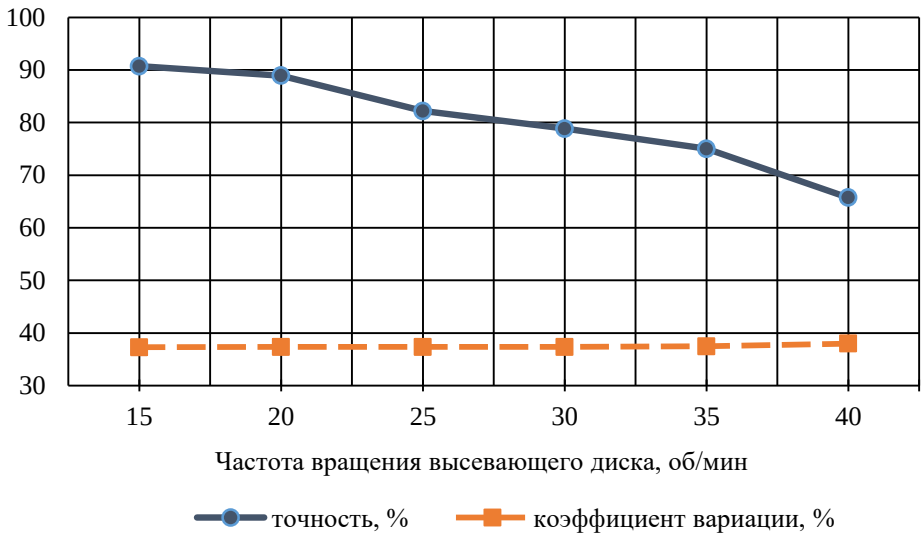

Рисунок 5 – Среднее значение общего коэффициента вариации и точность пунктирно-гнездового способа посева

Как видно из графиков рисунка 5, с увеличением скорости вращения высевающего диска неравномерность распределения семян ухудшается, появляются пропуски и двойники, что снижает точность пунктирно-гнездового способа, которая достигает своего минимального значения в 65,7% при 40 об/мин. При этом среднее значение общего коэффициента вариации практически не изменяется и колеблется в пределах 0,5 %.

Заключение. Согласно проведенным исследованиям, были рассмотрены различные критерии для оценки качества и определения неравномерности высева семян при пунктирно-гнездовом способе. Так использование общего критерия вариации для оценки неравномерности распределения семян нежелательно поскольку не дает информацию о пропусках, двойниках. При расчете коэффициента вариации во время работы сеялки мы получаем данные о количестве семян и неравномерности их распределения, можем косвенно определить качество пунктирно-гнездового посева, сравнивая теоретическое с экспериментальным значением, однако, нет информации о количестве семян в группе, расстоянии между семенами в группе и между группами. При определении точности пунктирно-гнездового посева задается количество семян в группе, с учетом нормы высева и конструктивных параметров высевающего диска, определяется расстояние между семенами. Расчетные значения временных интервалов пролета семян через датчик сравниваются с экспериментальными и с учетом заданного отклонения отбраковываются либо считаются как соответствующие агротехническим требованиям. Варьируя значение отклонения, можно настраивать точность посева.

Алгоритм определения коэффициента вариации и точности можно использовать для программирования системы контроля высева семян.

Список источников

1. Бузенков, Г. М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г. М. Бузенков. – Москва : Научно-техническое издательство "Машиностроение", 1976. – 272 с. – EDN ULVJRV.

2. Патент № 2127032 C1 Российская Федерация, МПК A01C 7/00, A01C 7/04. Способ высева семян и устройство для его осуществления: № 97100615/13 : заявл. 16.01.1997 : опубл. 10.03.1999 /

В. Д. Липин, С. А. Шишлов ; заявитель Приморская государственная сельскохозяйственная академия. – EDN OJDQVH.

3. Шишлов, С. А. Совершенствование конструкции высевающего аппарата и способа посева для сои / С. А. Шишлов // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 20-24. – EDN QCQBGN.

4. Василенко, В. В. Инверсия семян и ее влияние на качество пунктирного посева / В. В. Василенко, С. В. Василенко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 2(61). – С. 102-108. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.102. – EDN WMRPRL.

5. Казаров, К. Р. Совершенствование теории и методов точного размещения растений сахарной свеклы вдоль рядка / К. Р. Казаров. – Воронеж: ВГАУ, 1998. – 119 с.

6. Крючин, Н. П. Влияние способов формирования семенного потока высевающими аппаратами на равномерность распределения семян в рядке / Н. П. Крючин // Научное обозрение. – 2015. – № 3. – С. 8-12. – EDN TLPGPN.

7. Разработка программного обеспечения для оценки качества высева / Ю. В. Литовка, В. В. Конкина, А. В. Гаврилин [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса : Сборник научных статей III Международной научно-практической конференции, Тамбов, 25–27 октября 2022 года. Том 1. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2022. – С. 163-165. – EDN PGSBDP.

8. Черноиванов, В. И. Агрокиборг как биомашсистема / В. И. Черноиванов, Г. К. Толоконников // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 9(303). – С. 2-5. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-9-2-5. – EDN YUSXKX.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680499 Российская Федерация. Модуль управления электроприводом высевающего аппарата : № 2022669889 : заявл. 25.10.2022 : опубл. 02.11.2022 / С. П. Стрыгин, Н. Ю. Пустоваров ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». – EDN LXXSGL.

10. Патент на полезную модель № 218769 U1 Российская Федерация, МПК A01C 7/04. Стенд для испытания высевающих аппаратов пропашных сеялок точного высева : № 2023100239 : заявл. 10.01.2023 : опубл. 09.06.2023 / А. А. Синельников, А. В. Гаврилин, А. В. Балашов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве". – EDN DNYAHI.

11. Теоретическое обоснование параметров диска высевающего аппарата сеялки для гнездового посева семян сои / А. Н. Зазуля, А. В. Балашов, А. А. Синельников [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 2. – С. 69-71. – DOI 10.31857/S2500-26272019269-71. – EDN JFFXKS.

12. Research into the nested method of sowing soybean under the conditions of a moderate-continental climate / S. Khairullina, S. P. Strygin, A. A. Sinelnikov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Dushanbe, 14 марта 2023 года. – Dushanbe, 2023. – P. 012005. – DOI 10.1088/1755-1315/1212/1/012005.

13. Python Materials Genomics (pymatgen): A robust, open-source python library for materials analysis / S. P. Ong, W. D. Richards, G. Ceder [et al.] // Computational Materials Science. – 2013. – Vol. 68. – P. 314-319. – DOI 10.1016/j.commatsci.2012.10.028. – EDN SSLYAN.

References

1. Machines for sowing agricultural crops / G. M. Buzenkov. – Moscow : Scientific and Technical Publishing House "Mashinostroenie", 1976. – 272 p. – EDN ULVJRV.

2. Patent No. 2127032 C1 Russian Federation, IPC A01C 7/00, A01C 7/04. Method of sowing seeds and device for its implementation: No. 97100615/13 : application 16.01.1997 : publ. 10.03.1999 / V. D. Lipin, S. A. Shishlov; applicant Primorsky State Agricultural Academy. – EDN OJDQVH.

3. Improving the design of the sowing apparatus and the method of sowing for soybeans / S. A. Shishlov // Science in Central Russia. - 2013. – No. 1. – pp. 20-24. – EDN QCQBGN.

4. Inversion of seeds and its effect on the quality of single-grain sowing / V. V. Vasilenko, S. V. Vasilenko // Vestnik of Voronezh state agrarian university. – 2019. – Vol. 12, No. 2(61). – P. 102-108. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.102.

5. Improving the theory and methods of precise placement of sugar beet plants along the row / K. R. Kazarov. – Voronezh: VGAU, 1998. – 119 p.

6. Influence of the ways of seed flow formation by sowing devices on the evenness of seeds distribution in the bed / N. P. Kryuchin // Scientific Review. – 2015. – No. 3. – P. 8-12.

7. Software development for seeding quality assessment / Yu. V. Litovka, V. V. Konkina, A.V. Gavrilin [et al.] // Digitalization of the agro-industrial complex: Collection of scientific articles of the III International Scientific and Practical Conference, Tambov, October 25-27, 2022. Volume 1. – Tambov: Publishing Center of the Tambov State Technical University, 2022. – pp. 163-165. – EDN PGSBDP.

8. Agrocyborg as a biomachine system / V. I. Chernoivanov, G. K. Tolokonnikov // Machinery and equipment for rural area. – 2022. – № 9(303). – P. 2-5. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-9-2-5.

9. Certificate of state registration of the computer program No. 2022680499 Russian Federation. The control module of the electric drive of the seeding apparatus : No. 2022669889 : application 25.10.2022 : publ. 02.11.2022 / S. P. Strygin, N. Y. Pustovarov ; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture". – EDN LXXSGL.

10. Patent No. 218769 U1 Russian Federation, IPC A01C 7/04. Stand for testing seeding machines of precision seeders : No. 2023100239 : application 10.01.2023 : publ. 09.06.2023 / A. A. Sinelnikov, A.V. Gavrilin, A.V. Balashov [et al.] ; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture". – EDN DNYAHI.

11. Theoretical parameters seeder for the nest method of sowing soybean seeds / A. N. Zazulya, A.V. Balashov, A. A. Sinelnikov [et al.] // Russian agricultural science. – 2019. – No. 2. – PP. 69-71. – DOI 10.31857/S2500-26272019269-71. – EDN JFFXKS.

12. Research into the nested method of sowing soybean under the conditions of a moderate-continental climate / S. Khairullina, S. P. Strygin, A. A. Sinelnikov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Dushanbe, 14 марта 2023 года. – Dushanbe, 2023. – P. 012005. – DOI 10.1088/1755-1315/1212/1/012005.

13. Python Materials Genomics (pymatgen): A robust, open-source python library for materials analysis / S. P. Ong, W. D. Richards, G. Ceder [et al.] // Computational Materials Science. – 2013. – Vol. 68. – P. 314-319. – DOI 10.1016/j.commatsci.2012.10.028. – EDN SSLYAN.

Информация об авторах

С. П. Стрыгин – кандидат технических наук; Н. Ю. Пустоваров – кандидат технических наук; С. Г. Хайруллина – PhD, кандидат технических наук; В. В. Конкина – кандидат технических наук; А.С. Заводнов – студент.

Information about the authors

S. Strygin – Candidate of Technical Sciences; N. Pustovarov – Candidate of Technical Sciences; S. Khairullina – PhD, Candidate of Technical Sciences; V. Konkina – Candidate of Technical Sciences; A. Zavodnov – student.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 25.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 26.08.2023