



Оптимизация параметров и режимов работы дискового высевяющего аппарата по критерию равномерности высева

В. А. Овчинников*, М. Н. Чаткин, А. В. Овчинникова
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

*ovchinnikovv81@rambler.ru

Введение. При возделывании сельскохозяйственных культур необходимо учитывать потребность растений во влаге и питательных элементах, размещение по площади питания, определяющую освещенность и т. д. С целью создания благоприятных условий для роста и развития растений применяются различные способы посева с учетом биологических особенностей культур. Важным условием при посеве является равномерное расположение семян вдоль борозды, особенно актуально это при возделывании семенников мелкосеменных культур. Ключевое влияние на равномерность высева оказывают конструктивные параметры и кинематические режимы работы высевяющего аппарата.

Материалы и методы. Для определения оптимальных параметров и режимов работы дискового высевяющего аппарата были использованы методы мелко-факторного эксперимента и многокритериальной оптимизации. Обработка результатов исследования проводилась с помощью программного комплекса Pareto.

Результаты исследования. На основе экспериментальных исследований были получены математические модели технологического процесса высева семян мелкосеменных культур.

Обсуждение и заключения. Для повышения качества высева мелкосеменных культур конструктивные параметры экспериментального высевяющего аппарата (x_4 – диаметр ячейки; x_5 – количество ячеек на диске) будут стремиться к максимальным значениям. Оптимальная окружная скорость высевяющего диска должна находиться в диапазоне от 0,127 до 0,192 м/с, а скорость движения агрегата – составлять не более 2 м/с.

Ключевые слова: посев, высевяющий аппарат, мелкосеменная культура, равномерность распределения, параметр, кинематический режим, мелко-факторный эксперимент

Для цитирования: Овчинников В. А., Чаткин М. Н., Овчинникова А. В. Оптимизация параметров и режимов работы дискового высевяющего аппарата по критерию равномерности высева // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 3. С. 379–388. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.379-388>



Optimization of Parameters and Operating Modes of Disc Sowing Device According to Seeding Uniformity Criterion

V. A. Ovchinnikov*, M. N. Chatkin, A. V. Ovchinnikova

National Research Mordovia State University

(Saransk, Russia)

*ovchinnikovv81@rambler.ru

Introduction. When cultivating agricultural crops, it is necessary to take into account the plants' need for moisture, nutrients, location by area of nutrition, determining illumination, etc. Taking into account the biological characteristics of crops, various methods of sowing are used to create favorable conditions for plant growth and development. An important condition for sowing is the uniform arrangement of seeds along the sulcus, especially in the cultivation of testes of small-seeded cultures. A key role in the uniformity of seeding is provided by the design parameters and kinematic operating conditions of the sowing device.

Materials and Methods. To determine the optimal parameters and operating modes of the disk sowing device, methods of factor experiment and multi-criteria optimization were used.

Results. Mathematical models of the technological process of sowing seeds were obtained based of experimental studies.

Conclusions. To ensure the improvement of the seeding quality of small seeds, the design parameters of the experimental seeder: x_1 – is the diameter of the cell; x_2 – the number of cells on the disk, will tend to the maximum values. The optimum circumferential speed of the sowing disk should be in the range from 0.127 to 0.192 m/s, and the speed of the machine's movement is no more than 2 m/s.

Keywords: sowing, sowing apparatus, small-seed cultures, uniformity of distribution, parameter, kinematic regime, factor experiment

For citation: Ovchinnikov V. A., Chatkin M. N., Ovchinnikova A. V. Optimization of parameters and operating modes of disc sowing device according to seeding uniformity criterion. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(3):379–388. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.379-388>

Введение

Животноводство является одной из стратегических отраслей АПК России в осуществлении Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 гг., а также Доктрины продовольственной безопасности. Наиболее сложным и трудоемким направлением животноводства является скотоводство. В последние годы, благодаря государственной поддержке данной отрасли, численность крупного рогатого скота постепенно

увеличивается. В связи с этим возникает необходимость производства высококачественных кормов, удовлетворяющих основным потребностям высокопродуктивных животных. Определяющее значение в обеспечении оптимального рациона кормления животных имеют многолетние травы. Они являются универсальным сырьем для приготовления кормов для различных групп животных.

Правильная система организации кормопроизводства предусматривает обязательное наличие посевов семеновников трав, агротехника возделывания которых накладывает жесткие требо-



вания к размещению растений на площади питания¹. Установлено, что наиболее эффективным способом посева семян мелкосеменных культур (люцерна, клевер) является широкорядный, а именно пунктирно-гнездовой, способствующий успешному плодonoшению. В таких посевах создаются благоприятные для развития растений условия освещения, опыления, температурного, воздушного и водного режимов, что в итоге влияет на качество и количество будущего урожая² [1].

Обзор литературы

Для реализации вышеупомянутого способа используют, как правило, сеялки точного высева с вертикально-дисковыми высевающими аппаратами, отличающиеся простотой конструкции и высокой надежностью. К тому же точка схода семян с дозатора максимально приближена к поверхности почвы, что благоприятно сказывается на равномерности распределения семян в борозде [2].

Многочисленные исследования в области совершенствования посевных машин указывают на то, что именно вертикально-дисковые высевающие аппараты имеют резерв повышения точности дозирования семян при высеве мелкосеменных культур [3–4].

При проектировании аппаратов точного высева необходимо учитывать следующие условия:

– использование данных аппаратов целесообразно при окружной скорости

высевающего диска не выше 0,22 м/с, т. к. с увеличением данного показателя резко возрастает травмированность семян и ухудшается заполняемость ячеек [2; 5];

– оптимальная скорость посева семян мелкосеменных культур должна находиться в интервале от 1,4 до 2,1 м/с, т. к. в данном диапазоне скоростей наблюдается максимально равномерное распределение семян в борозде³⁻⁴.

Материалы и методы

С учетом вышеизложенных условий в ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет» разработан экспериментальный вертикально-дисковый высевающий аппарат для посева мелкосеменных культур (рис. 1) [6–9]. Процесс функционирования вертикально-дискового высевающего аппарата находится в сложной зависимости от множества факторов, каждый из которых оказывает влияние на качественные показатели его работы. На основании поисковых исследований было отобрано несколько факторов, оказывающих наибольшее влияние на равномерность дозирования семян (x_1 – окружная скорость диска; x_2 – скорость МТА; x_3 – глубина ячеек; x_4 – диаметр ячеек; x_5 – количество ячеек на высевающем диске); остальными малозначимыми факторами можно было пренебречь⁵. Обозначим натуральные значения факторов V_d , V_a , h_a , d_a и n_a , которым соответствуют кодовые x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 .

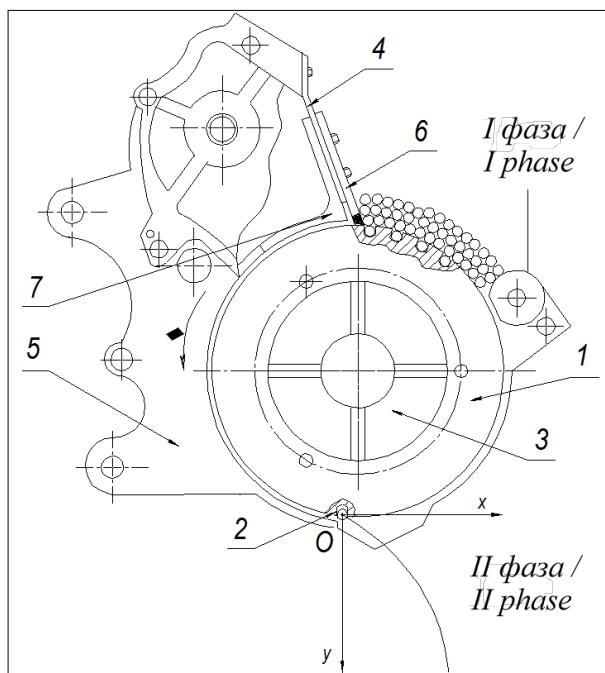
¹ **Обвинников В. А.** Повышение эффективности машин для посева мелкосеменных культур : монография. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. 104 с.

² **Обвинников В. А., Драняев С. Б., Жегалин В. В.** Особенности возделывания люцерны на семена // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 15–18.

³ **Василенков В. Е.** Обоснование процесса высева семян люцерны малыми нормами усовершенствованным вертикально-дисковым высевающим аппаратом : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Глевах, 1983. 18 с.

⁴ **Paarlberg P. L., Paarlberg D.** The agricultural revolution of the 20th century. Ames : Iowa State University Press, 2001. 154 p.

⁵ **Обвинников В. А.** Совершенствование конструктивно-технологических параметров дискового высевающего аппарата для высева мелкосеменных культур (на примере люцерны) : дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2007. 165 с.



Р и с. 1. Экспериментальный вертикально-дисковый высевочный аппарат: 1 – высевочный диск; 2 – ячейки; 3 – зубчатка; 4 – планка; 5 – корпус; 6 – отражатель; 7 – вставка

Fig. 1. Experimental vertical disk sowing device: 1 – sowing disk; 2 – cell; 3 – gear; 4 – plank; 5 – hull; 6 – seeds regulator; 7 – insertion

Уровни варьирования факторов высева на основании предварительных исследований и представлены в табл. 1.

Для описания процесса высева мелкосеменных культур используем дробно-факторный эксперимент⁶. В каче-

Таблица 1
Table 1

**Интервалы и уровни варьирования факторов /
Intervals and the variation levels of the factors**

Независимые факторы (переменные) / Independent factors (variables)		Уровни варьирования / Variation levels		
В кодированном виде / Coded views	В натуральном виде / Natural views	-1	0	+1
x_1	$V_{д^2}$, м/с / $V_{д^2}$, m/s	0,12	0,185	0,25
x_2	$V_{а^2}$, км/ч / $V_{а^2}$, km/h	3,4	5,45	7,5
x_3	$h_{я^2}$, мм / $h_{я^2}$, mm	1	1,5	2
x_4	$d_{я^2}$, мм / $d_{я^2}$, mm	2,5	3,75	5
x_5	$n_{я^2}$, шт / $n_{я^2}$, pc	60	70	80

⁶ Адлер Ю. П., Маркова Е. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976. 279 с.



стве параметров оптимизации прием равномерность количества семян в одном гнезде и равномерность среднего расстояния между соседними гнездами.

В табл. 2 представлен план эксперимента $N = 2^{k-1}$ и подсчитаны значения параметров оптимизации.

Исследования опытного образца высевающего устройства проводились на экспериментальном стенде кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Института механики и энергетики. Данный стенд представляет собой почвенный канал

с подвижным модулем и контрольно-измерительным оборудованием⁷. Рабочие элементы экспериментального стенда учитывали особенности испытания рабочих органов сельскохозяйственных машин⁸ [10–12], что позволило провести эксперименты на достаточно высоком уровне.

Результаты исследования

После проведения опытов и обработки экспериментальных данных были получены математические модели технологического процесса высева семян мелкосеменных культур опытным образцом вертикально-дискового высевающего ап-

Таблица 2

Table 2

План дробно-факторного эксперимента /
Plan of fractional-factor experiment

Номер опыта / Number of experience	Независимые факторы / Independent factors					Значения параметров оптимизации / Optimization parameter values	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$v(N)$	$v(l)$
1	-1	1	-1	-1	-1	9,3	9,2
2	1	1	1	-1	-1	15,1	4,7
3	-1	1	-1	1	1	13,9	13,8
4	1	1	-1	-1	1	6,5	9,2
5	1	1	1	1	1	2,0	14,6
6	1	1	-1	1	-1	13,7	7,0
7	1	-1	-1	-1	-1	2,8	4,4
8	-1	-1	-1	-1	1	14,8	6,3
9	-1	-1	1	1	1	7,9	3,8
10	1	-1	-1	1	1	2,8	3,9
11	-1	-1	-1	1	-1	4,4	16,4
12	-1	1	1	-1	1	2,8	6,2
13	1	-1	1	1	-1	1,8	4,2
14	-1	-1	1	-1	-1	4,1	5,0
15	1	-1	1	1	1	4,3	13,2
16	-1	1	1	1	-1	2,7	2,5

⁷ **Обчинников В. А.** Повышение эффективности машин для посева мелкосеменных культур: монография. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. 104 с.

⁸ **Особенности работы приводных модулей высевающих аппаратов механических зерновых сеялок** / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. трудов. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 6–10.

парата в зависимости от его конструктивных и кинематических параметров:

$$v(N) = 10,8 + 3,7 x_1 - 5,7 x_3 + 2,7 x_4 + 4,4 x_5 - 2,5 x_1 x_2 - 3 x_1 x_3 + 3,9 x_1 x_4 + 3,8 x_2 x_3 - 3,5 x_2 x_4 - 5 x_2 x_5 - 5,5 x_3 x_4 - 5,3 x_3 x_5 + x_4 x_5; \quad (1)$$

$$v(l) = 7,8 + 0,63 x_2 - x_3 + 1,1 x_5 + 2,5 x_1 x_3 - 0,73 x_1 x_4 + 1,47 x_1 x_5 + 1,45 x_2 x_5 - x_3 x_4 + 1,57 x_3 x_5. \quad (2)$$

Результаты экспериментов были обработаны с использованием программного комплекса Pareto⁹⁻¹⁰. На основе многокритериальной оптимизации были получены параметры и режимы работы, оптимальные для экспериментального высевающего аппарата. Опытные данные приведены в закодированном виде в табл. 3.

Из анализа уравнений регрессии (1–2), а также данных табл. 3 следует, что глубина и диаметр ячеек (x_3, x_4) стремятся к максимальным значениям, что благоприятно влияет на параметры оптимизации. Количество ячеек на высевающем диске (x_5) также стремится к максимуму, что дополнительно подтверждено результатами ряда опытов по определению влияния числа ячеек на травмированность семян [22].

Влияние окружной скорости высевающего диска и скорости машинно-тракторного агрегата (МТА) на равномерность высева представлено на рис. 2–3.

Анализируя результаты исследования (рис. 2–3), приходим к выводу, что кинематические режимы работы экспериментального высевающего аппарата оказывают максимальное влияние на равномерность высева семян вдоль

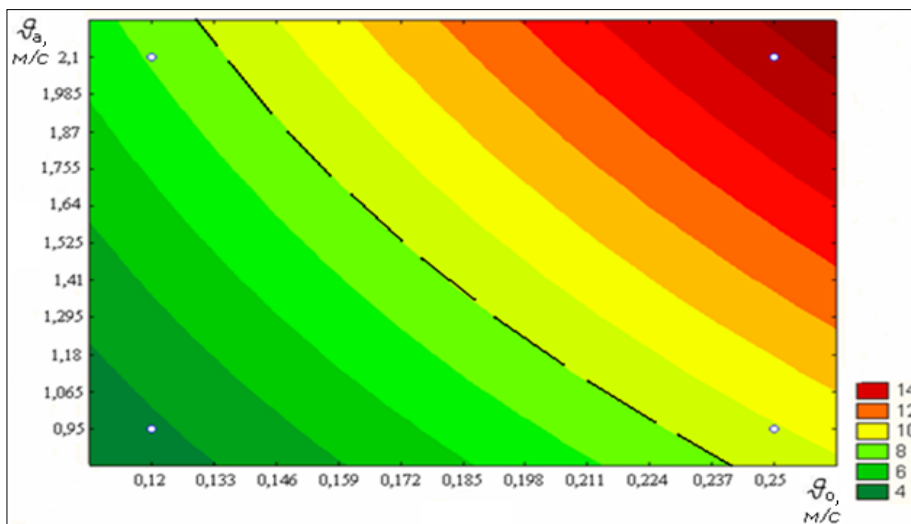
Т а б л и ц а 3
T a b l e 3

Оптимальные значения параметров экспериментального аппарата /
Optimal values of experimental apparatus parameters

Окружная скорость диска, x_1 / Peripheral speed of the disk, x_1	Скорость МТА, x_2 / Sowing speed, x_2	Глубина ячеек, x_3 / Depth of cells, x_3	Диаметр ячеек, x_4 / Diameter of the cell, x_4	Количество ячеек на диске, x_5 / Number of cells on disk, x_5
0,93	0,84	0,95	0,83	0,68
0,80	0,93	0,83	0,97	0,91
0,83	0,74	0,91	0,73	1,00
0,59	0,82	0,89	1,00	0,95
0,91	1,00	0,73	0,91	0,94
0,75	0,59	0,94	0,90	0,74
0,84	0,64	1,00	0,85	0,50
1,00	0,74	0,79	0,84	0,83
0,64	0,50	0,98	0,82	0,79
0,98	0,98	1,00	0,63	0,72
0,77	0,62	0,90	0,79	0,89
0,68	0,91	0,95	0,78	0,93
0,96	0,58	0,96	0,71	0,62
0,78	0,97	0,93	0,87	0,77

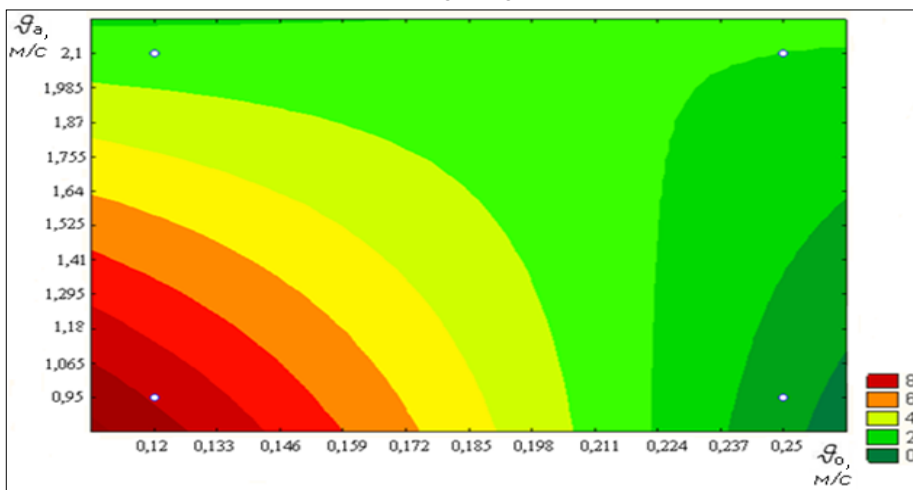
⁹ Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1989. 192 с.

¹⁰ Акимов А. П., Константинов Ю. В. Оптимизация параметров и режимов функционирования дисков почвообрабатывающих машин и орудий. Чебоксары, 2017. 136 с.



Р и с. 2. Влияние окружной скорости диска и скорости МТА на равномерность высева семян вдоль рядка

Fig. 2. The influence of disc peripheral velocity and speed movement of the seed drill for uniform seed sowing along the row



Р и с. 3. Влияние окружной скорости диска и скорости МТА на равномерность числа семян в одном гнезде

Fig. 3. The influence of the circumferential speed of the disc and the speed of the seeder on the uniformity of the number of seeds in one nest

рядка, и минимальное – на равномерность числа семян в одном гнезде.

Обсуждение и заключения

В результате исследования параметров и режимов работы экспериментального высевающего аппарата сеялки для пунктирно-гнездового посева семенни-

Technologies and means of agricultural mechanization

ков мелкосеменных культур установлены ее оптимальные параметры: диаметр ячейки – 5 мм; глубина ячейки – 2 мм; число ячеек на диске – 80 шт; окружная скорость диска находится в диапазоне от 0,127 до 0,192 м/с, а скорость агрегата составляет не более 2 м/с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Овчинников В. А., Чаткин М. Н.** Посев семенников люцерны экспериментальным агрегатом // Сельский механизатор. 2013. № 12. С. 8–9. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21283539>
2. **Шварц А. А., Шварц С. А.** Повышение эффективности аппаратов точного высева мелкосеменных культур // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 9. С. 104–110. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-apparatov-tochnogo-vyseva-melkosemennyh-kultur>
3. **Фирсов А. С., Голубев В. В.** Перспективы развития дисковых высевающих аппаратов // Агротехника и энергообеспечение. 2015. № 1. С. 18–22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27420748>
4. Результаты лабораторных исследований высевающего аппарата с цилиндрами упругодеформируемом кольце / В. Н. Кувайцев [и др.] // Нива Поволжья. 2016. № 2. С. 78–81. URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=32232>
5. **Шварц А. А., Шварц С. А.** Повышение качества посева и универсальности аппарата точного высева // Техника в сельском хозяйстве. 2005. № 3. С. 43–44.
6. **Овчинников В. А.** Влияние угла установки отражателя семян на степень заполнения ячеек дискового высевающего аппарата // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4. С. 166–169. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-ugla-ustanovki-otrazhatelya-semyan-na-stepen-zapolneniya-yacheek-diskovogo-vysevayuschego-apparata>
7. **Овчинников В. А., Чаткин М. Н., Драняев С. Б.** Дисковый аппарат для высева мелкосеменных культур // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 9. С. 10–11. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20658654>
8. **Овчинников Д. А., Овчинников В. А., Чаткин М. Н.** Дисковый высевающий аппарат для мелкосеменных культур // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. № 2. С. 75–78. DOI: <https://doi.org/10.12737/12057>
9. **Чаткин М. Н., Овчинников В. А.** Результаты исследований свекловичной сеялки ССТ-12 на посеве семенников люцерны // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. 2007. № 3. С. 68–69. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9513629>
10. **Купряшкин В. Ф., Наумкин Н. И., Купряшкин В. В.** Исследование устойчивости движения подвижного модуля экспериментальной установки при испытании активных ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 2. С. 246–258. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.026.201602.246-258>
11. Обоснование параметров динамического стабилизатора устойчивости движения подвижного модуля экспериментального стенда при исследовании активных ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 52–66. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.027.201701.052-066>
12. Повышение эффективности функционирования универсальной зерновой сеялки СЗУ-6 / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8, ч. 2. С. 206–211. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=32085>
13. **Овчинников В. А.** Результаты исследований повреждения семян мелкосеменных культур дисковым высевающим аппаратом // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 190–197. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.027.201702.190-197>

Поступила 01.02.2018; принята к публикации 10.04.2018; опубликована онлайн 20.09.2018

Об авторах:

Овчинников Владимир Анатольевич, доцент кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68/1), кандидат технических наук, Researcher ID: O-6834-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0350-8478>, ovchinnikovv81@rambler.ru



Чаткин Михаил Николаевич, профессор кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68/1), доктор технических наук, Researcher ID: O-7004-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3758-7066>, chatkinm@mail.ru

Овчинникова Алена Владимировна, магистрант кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68/1), Researcher ID: O-6853-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2081-2367>, alena2011ovch@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

В. А. Овчинников – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, подготовка начального варианта текста и формирование выводов; М. Н. Чаткин – проведение критического анализа исследования и доработка текста; А. В. Овчинникова – проведение исследований, компьютерные работы, визуализация, верстка и редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Ovchinnikov V. A., Chatkin M. N. Seeding alfalfa testes experimental unit. *Selskiy mekhanizator* = Rural Mechanic. 2013; 12:8–9. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21283539> (In Russ.)
3. Schwartz A. A., Schwartz S. A. Increasing the efficiency of precision seeding machines for small seeds. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Kursk State Agricultural Academy Bulletin. – 2015; 9:104–110. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-apparatov-tochnogo-vyseva-melkosemennyh-kultur> (In Russ.)
3. Firsov A. S., Golubev V. V. Prospects for the development of disc seeding machines. *Agrotekhnika i energoobespechenie* = Agrotechnics and Power Supply. 2015; 1:18–22. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27420748> (In Russ.)
4. Kuvaytsev V. N., Laryushin N. P., Shukov A. V. The results of laboratory researches of the sowing unit with cylinders elastodeformed. *Niva Povolzhya* = Field of Volga Region. 2016; 2:78–81. Available at: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=32232> (In Russ.)
5. Schwartz A. A., Schwartz S. A. Improving the quality of sowing and versatility of the machine of exact seeding. *Tekhnika v selskom khozyaystve* = Machinery in Agriculture. 2005; 3:43–44. (In Russ.)
6. Ovchinnikov V. A. Influence of the angle of the reflector the degree of filling cells disk sowing apparatus. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Ulyanovsk State Agricultural Academy Bulletin. 2014; 4:166–169. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-ugla-ustanovki-otrazhatelya-semyan-na-stepen-zapolneniya-yacheek-diskovogo-vysevayuschego-apparata> (In Russ.)
7. Ovchinnikov V. A., Chatkin M. N., Dranyaev S. B. Disk sowing apparatus for small-seeded crops. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Agricultural Machinery. 2013; 9:10–11. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20658654> (In Russ.)
8. Ovchinnikov D. A., Ovchinnikov V. A., Chatkin N. M. Disk sowing apparatus for seeding small-seeded crops. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Kazan State Agrarian University Bulletin. 2015; 2:75–78. DOI: <https://doi.org/10.12737/12057> (In Russ.)
9. Chatkin M. N., Ovchinnikov V. A. Results of the research of the beet drill SST-12 on the crop of the alfalfas seed plants. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N. I. Vavilova* = Bulletin of Vavilov Saratov State Agrarian University. 2007; 3:68–69. (In Russ.)
10. Kupryashkin V. F., Naumkin N. I., Kupryashkin V. V. Stability of motion of mobile module of experimental setup in the study of active rotary working of machines for soil treatment. *Vestnik Mordovskogo*

universiteta = Mordovia University Bulletin. 2016; 26(2):246–258. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.026.201602.246-258> (In Russ.)

11. Kupryashkin V. F., Naumkin N. N., Knyazkov A. S., Kupryashkina V. N., Shlyapnikov M. G., Kupryashkin V. V., Terekhin E. Yu. Justification for parameters of a dynamic stabilizer of the experimental stand mobile unit in studying of active rotational working tools of tiller machines. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 27(1):52–66. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.027.201701.052-066> (In Russ.)

12. Kupryashkin, V. F., Naumkin N. I., Firstov A. F., Ulanov A. S. Increase of efficiency of functioning of universal grain seeder SZU-6. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii* = Modern Science Intensive Technologies. 2013; 8(2):206–211. Available at: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=32085> (In Russ.)

13. Ovchinnikov V. A. Results of the study of damage to small seeds from the disk sowing apparatus. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 27(2):190–197. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.027.201702.190-197> (In Russ.)

Received 01.02.2018, revised 10.04.2018, published online 20.09.2018

About authors:

Vladimir A. Ovchinnikov, Associate Professor of Prof. Leshchankin Chair of Mobile Energy and Agricultural Machinery, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68/1 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Researcher ID: O-6834-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0350-8478>, ovchinnikovv81@rambler.ru

Mikhail N. Chatkin, Professor of Prof. Leshchankin Chair of Mobile Energy and Agricultural Machinery, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68/1 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), D.Sc. (Engineering), Professor, Researcher ID: O-7004-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3758-7066>, chatkinm@mail.ru

Alena V. Ovchinnikova, Master Degree Student of of Prof. Leshchankin Chair of Mobile Energy and Agricultural Machinery, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68/1 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Researcher ID: O-6853-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2081-2367>, alena2011ovch@yandex.ru

Authors' contribution:

V. A. Ovchinnikov managed the research project, developed the theoretical framework, revised the draft and drew the conclusions; M. N. Chatkin critically analyzed the research results and revised the draft; A. V. Ovchinnikova carried out the research, made word processing, editing, and visualization of the results.

All authors have read and approved the final version of the paper