

DOI  
УДК 631.331

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАТУШЕЧНО-ШТИФТОВОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

**Сыркин Владимир Анатольевич**, старший преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: Sirkin\_VA@mail.

**Машков Сергей Владимирович**, канд. экон. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: mash\_ser@mail.ru.

**Ишкин Павел Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: ishkin\_pa@mail.ru.

**Васильев Сергей Иванович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: si\_vasilev@mail.ru

**Ключевые слова:** сеялка, аппарат, катушка, высев, неравномерность, оптимизация, параметр.

*Цель исследований – повышение качества технологического процесса высева катушечно-штифтового высевающего аппарата. В селекционном производстве к технологической операции посева предъявляются жесткие требования по качеству выполнения, поэтому ее осуществляют специальными селекционными сеялками. Одним из главных конструктивных элементов селекционной сеялки, влияющим на качественные и количественные характеристики посева, является высевающий аппарат. Наибольшее распространение среди высевающих аппаратов получили катушечно-желобчатые. Однако высевающие аппараты данного типа имеют недостатки, одним из которых является создание пульсирующего потока семян, увеличивающего неравномерность высева, что приводит к снижению качества посева. Катушечно-штифтовые высевающие аппараты лишены этого недостатка и имеют более высокую равномерность высева. Предложена новая конструкция катушечно-штифтового высевающего аппарата, у которого катушка составлена из трех штифтовых дисков, двух боковых и одного центрального. При работе катушки боковые диски вращаются с опережением относительно центрального, что способствует повышению равномерности высева семян. С целью выявления оптимальных параметров высевающего аппарата, влияющих на равномерность продольного высева, проведены исследования по методике многофакторного планирования эксперимента. Изготовлен опытный катушечно-штифтовый высевающий аппарат для пневматической селекционной сеялки ССНП-16. Основными факторами, влияющими на качественные параметры технологического процесса высева семян, приняты следующие: число штифтов высевающей катушки  $k = 48; 72; 96$ ; передаточное отношение редуктора, приводящего во вращение крайние штифтовые диски,  $i = 1,17; 1,55; 1,93$ ; частота вращения центральной части штифтовой катушки  $n = 12; 16; 20$ . Критерием оптимизации выбрана неравномерность продольного высева  $v, \%$ . Найдены оптимальные значения факторов: число штифтов высевающей катушки  $k = 87$ , передаточное отношение редуктора, приводящего во вращение крайние диски,  $i = 1,77$ , средняя частота вращения центральной части высевающей катушки  $n = 16$  об/мин. При данных значениях факторов неравномерность продольного высева не превышает 22,5%.*

## OPTIMIZATION OF DESIGN AND PROCESS PARAMETERS OF THE PEG-WHEEL FEED

**V. A. Syrkin**, senior lecturer of the Department of «Electrification and Automation of the Agro-industrial Complex», FSBEI HE Samara State Agrarian University.

446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2.

E-mail: Sirkin\_VA@mail.

**S. V. Mashkov**, Candidate of Economic Sciences, Head of the Department of «Electrification and Automation of the Agro-industrial Complex», FSBEI HE Samara State Agrarian University. 446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2. E-mail: mash\_ser@mail.ru.

**P. A. Ishkin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Electrification and Automation of the Agro-industrial Complex», FSBEI HE Samara State Agrarian University. 446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2. E-mail: ishkin\_pa@mail.ru.

**S. I. Vasiliev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Electrification and Automation of the Agro-industrial Complex», FSBEI HE Samara State Agrarian University. 446442, Samara region, settlement Ust-Kinelsky, Uchebnaya street, 2. E-mail: si\_vasilev@mail.ru

**Keywords:** seeder, apparatus, coil, seeding, unevenness, optimization, steam meter.

The purpose of the research is to improve the quality of the seeding process of a peg-wheel feed. Plant breeding centers raise strict requirements to operational process of seeding quality and works are performed by nursery planters. One of main structural elements of a nursery planter that affects the qualitative and quantitative characteristics of sowing is the seed drill. The most widespread among the seeding devices were peg-wheel with grooves. However, seeding devices of this type have disadvantages, one of which is the creation of a pulsating seed duct that increases the uneven seeding, leading to a decrease in the sowing quality. Peg-wheel feeds have no this disadvantage but possess a higher even seeding quality. A new design of a peg-wheel feed has been proposed, which roller is made up of three pin disks, two laterals and one central. During operation of the roller, the lateral disks rotate ahead of the central one, which contributes to an increase of even seeding. In order to identify the optimal parameters of the seeding apparatus that affect even longitudinal seeding, studies were conducted using the method of multifunctional planning of experiment. An experimental peg-wheel feed for a pneumatic nursery planter SSNP-16 has been manufactured. Main factors affecting the quality parameters of seeding process are the following: the number of toothed rollers  $k = 48; 72; 96$ ; speed ratio changer that rotates the extreme roller disks,  $i = 1.17; 1.55; 1.93$ ; rotation frequency of the central part of toothed roller  $n = 12; 16; 20$ . The best criteria is uneven longitudinal seeding  $v, \%$ . The optimal values of key factors were found: the number of toothed rollers  $k = 87$ , speed ratio changer that rotates the extreme disks,  $i = 1.77$ , rotation frequency of the central part of toothed roller  $n = 16$  rpm. With these values of factors, uneven longitudinal seeding does not exceed 22.5%.

Селекционное производство новых сортов и гибридов семян является одним из важных направлений в агропромышленном комплексе, обеспечивающих сельхозпроизводителей качественным посевным материалом. На всех стадиях и этапах получения новых сортов и гибридов ко всем технологическим процессам предъявляются высокие агротехнические требования.

Посев семян является одним из важных процессов в селекционном производстве, который осуществляется специальными селекционными сеялками. Равномерное распределение семян по площади поля является одной из основных задач процесса посева, решение которой обеспечивает будущее растение оптимальной площадью питания. К процессу посева семян селекционными сеялками предъявляются такие агротехнические требования, как обеспечение заданной нормы высева, неравномерность распределения семян вдоль рядка, глубина заделки семян, устойчивость высева и пр. Одним из основных элементов посевной машины, отвечающей за большинство предъявляемых требований, является высевающий аппарат [2, 10, 11].

Для посева зерновых культур используются сеялки с различными типами высевающих аппаратов, однако наибольшее распространение получили аппараты катушечно-желобчатого типа. Основным их преимуществом является надежность, простота конструкции, малая восприимчивость к воздействию внешних факторов и т.д. Однако, одним из основных недостатков аппаратов данного типа является создание пульсирующего потока семян при выходе из него, приводящее к тому, что на некоторых участках рядков будет наблюдаться высокая густота растений, а на части участков, наоборот, более редкие всходы. В результате площадь питания растений не будет соответствовать заданным нормам, что в дальнейшем приведет к снижению урожайности и качества получаемого посевного материала [3, 4].

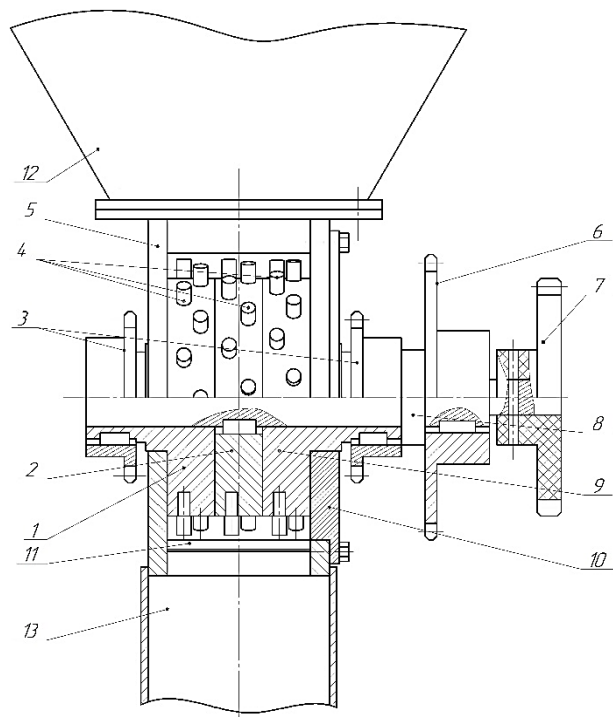
Одним из перспективных типов высевальных аппаратов является катушечно-штифтовые высевальные аппараты, обеспечивающие низкую неравномерность высева по сравнению с катушечно-желобчатыми высевальными аппаратами. Поэтому исследования, направленные на совершенствование аппаратов данного типа являются актуальными.

**Цель исследований** – повышение качества технологического процесса высева катушечно-штифтового высевального аппарата.

**Задачи исследований:** определить оптимальные конструктивно-технологические параметры катушечно-штифтового высевального аппарата; изучить влияние конструктивно-технологических параметров катушечно-штифтового высевального аппарата на неравномерность высева.

**Материалы и методы исследований.** Для пневматической селекционной сеялки ССНП-16 разработана схема катушечно-штифтового высевального аппарата (рис. 1, а) (патент РФ № 2473200 «Высевальный аппарат») [5]. Основными элементами высевального аппарата являются корпус 5 (рис. 1), штифтовая катушка, редуктор, клапан 11, бункер 12 и приемный лоток 13. Штифтовая катушка, состоит из центрального 2 и крайних 1, 9 штифтовых дисков, установленных на валу 8. На дисках 1, 2, 9 установлены штифты 4, имеющие цилиндрическую форму. Центральный диск 2 неподвижно закреплен на валу 8. Крайние диски 1, 9 приводятся в движение через повышающий редуктор. Высевальный аппарат приводится в движение от опорного колеса сеялки, цепную понижающую передачу, карданный вал и редуктор [7].

Высевальный аппарат работает следующим образом. Семена через загрузное отверстие поступают самотеком из бункера 12 в семенную коробку высевального аппарата, образуемую корпусом 5, клапаном 11 и штифтовой катушкой. При вращении штифтовые диски перемещают семена, попавшие в межштифтовое пространство, а также часть семян, образующих активный слой. В результате семена перемещаются в нижнюю часть семенной коробки и сбрасываются с клапана 11 на наклонный лоток 13.



а



б

Рис. 1. Высевальный аппарат катушечно-штифтового типа:

а – схема конструкционная; б – общий вид; 1, 9 – крайние (боковые) штифтовые диски; 2 – центральный штифтовый диск; 3 – ведомые звездочки привода крайних дисков; 4 – цилиндрические штифты; 5 – корпус высевального аппарата; 6 – ведущая звездочка повышающего редуктора; 7 – звездочка привода высевального аппарата; 8 – вал высевального аппарата; 10 – крышка; 11 – семенной клапан; 12 – семенной бункер; 13 – приемный лоток

Так как крайние диски 1, 9 вращаются быстрее центрального диска 2, в высевальном аппарате образуются три потока семян, которые, взаимодействуя между собой, уплотняют поток, выходящий из высевального аппарата.

В результате предлагаемый высевальный аппарат создает определенные предпосылки для увеличения равномерности продольного высева семян зерновых культур.

Для проверки достоверности гипотезы разработана программа и методика исследований влияния конструктивных и технических параметров на подачу высевального аппарата, на устойчивость и неравномерность высева [9]. Изготовлен экспериментальный катушечно-штифтовый высевальный аппарат.

В результате предварительных исследований установлены факторы, влияющие на качественные показатели предлагаемого высевального аппарата.

В качестве основных факторов, оказывающие наибольшее влияние на качественные параметры технологического процесса высева семян, были приняты следующие:

- число штифтов высевальной катушки  $k$ ;
- передаточное отношение редуктора, приводящего во вращение крайние штифтовые диски,  $i$ ;
- частота вращения центральной части штифтовой катушки  $n$ .

Исследования влияния указанных факторов на качество технологического процесса высева семян проводились на лабораторной установке для экспериментальных исследований подачи семенного материала.

Для определения влияния числа штифтов высевальной катушки на качество технологического процесса высева семян были изготовлены комплекты сменных высевальных катушек с разным количеством штифтов.

С каждым комплектом штифтовых катушек определялось качество технологического процесса высева семян согласно методике многофакторного планирования эксперимента.

Критерием оптимизации выбран такой параметр качества технологического процесса высева семян как неравномерность продольного высева  $v$ , %.

На основании предварительных исследований выбирались уровни и интервалы варьирования переменных факторов.

В результате определили, что лучшие параметры равномерности высева высевального аппарата обеспечиваются, если количество штифтов варьируется в пределах  $k = 48...96$ , соотношение частот вращения штифтовых дисков –  $i = 1,17...1,93$  и частоты вращения катушки –  $n = 12...20 \text{ мин}^{-1}$  (табл. 1).

Многофакторные опыты проводились в соответствии с симметричным некомпозиционным квази-Д-оптимальным планом Песочинского.

Таблица 1

Варьирование интервалов и уровней основных факторов

Уровни варьирования факторов	Факторы			Факторы в кодированном виде		
	$k$ , шт.	$i$	$n$ , $\text{мин}^{-1}$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Верхний	96	1,93	20	+1	+1	+1
Нижний	72	1,55	16	-1	-1	-1
Основной	48	1,17	12	0	0	0
Интервал варьирования	24	0,38	4	1	1	1

Результаты реализации многофакторных экспериментов обрабатывались по методике, изложенной в источнике [1], и приведены в экспериментальной части работы.

При исследовании влияния конструктивно-технологических параметров катушечно-штифтового высевального аппарата на качество высева были проведены лабораторно-полевые исследования [6].

Для этого на базе селекционной пневматической сеялки ССНП-16 разработана и изготовлена экспериментальная селекционная сеялка, оборудованная разработанным высевальным аппаратом.

Проводимые исследования определяли сравнительные показатели высева экспериментальной сеялки и селекционной пневматической сеялки ССНП-16, оснащенной базовым катушечно-желобчатым высевальным аппаратом [7].

**Результаты исследований.** Для аналитического описания влияния факторов на критерий оптимизации была выбрана квадратичная модель уравнения регрессии:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

где  $y$  – параметр оптимизации;

$b_0$  – свободный член, равный отклику при  $x_i = 0$ ;

$b_i$  – коэффициент уравнения регрессии, соответствующий  $i$ -му фактору;

$b_{ij}$  – коэффициент уравнения регрессии, соответствующий взаимодействию факторов;

$x_i$  – кодированное значение факторов ( $i = 1, 2, 3 \dots$ ).

В результате реализации многофакторного эксперимента и обработки полученных данных определены значения коэффициентов регрессии выбранной математической модели (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты регрессии представленной математической модели

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
23,910	-4,910	-0,361	0,953	-1,153	-0,032	0,159	4,069	9,493	-0,844

Оценена значимость коэффициентов регрессии по  $t$ -критерию Стьюдента для 5% уровня значимости и числа степеней свободы 26 ( $t_{кр}=2,06$ ). Определены расчетные значения критерия Стьюдента. Коэффициенты уравнения регрессии  $b_{13}$ ,  $b_{23}$  оказались незначительными, так как  $t_{расч} < t_{кр}$  (их можно исключить без пересчета остальных). В результате уравнение регрессии:

$$y = 23,91 - 4,91x_1 - 0,361x_2 + 0,953x_3 - 1,153x_1x_2 + 4,069x_1^2 + 9,493x_2^2 - 0,844x_3^2. \quad (2)$$

После раскодировки факторов при средней частоте вращения центральной части высевающей катушки  $n = 16$  об/мин уравнение регрессии:

$$v = 262,39 - 1,0 \cdot k - 222 \cdot i - 0,126 \cdot k \cdot i + 0,0071 \cdot k^2 - 65,7 \cdot i^2. \quad (3)$$

Проверка адекватности модели с исключенными незначительными коэффициентами уравнения регрессии проведена с использованием F-критерия Фишера. Расчетное значение F-критерия Фишера составило 295,89. Табличное значение критерия со степенями свободы  $f_1 = 1$  и  $f_2 = 11$  составило  $F_{табл} = 4,84$ .

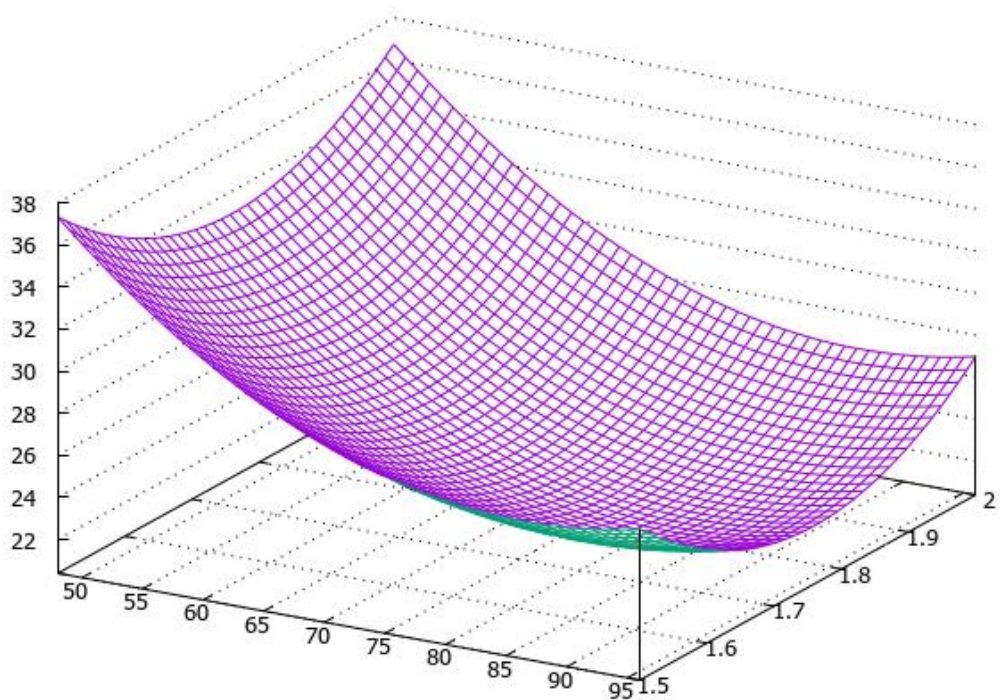
Поскольку фактическое значение критерия Фишера  $F > F_{табл}$ , то коэффициент детерминации статистически значим, и найденная оценка уравнения регрессии статистически надежна, что подтверждает адекватность полученной модели.

По представленной формуле уравнения регрессии (3) построена графическая зависимость изменения неравномерности продольного высева ( $v$ ) в зависимости от числа штифтов высевающей катушки ( $k$ ) и передаточного отношения редуктора, приводящего во вращение крайние штифтовые диски ( $i$ ), в виде поверхности отклика (рис. 2, а) и сечения поверхности отклика (рис. 2, б).

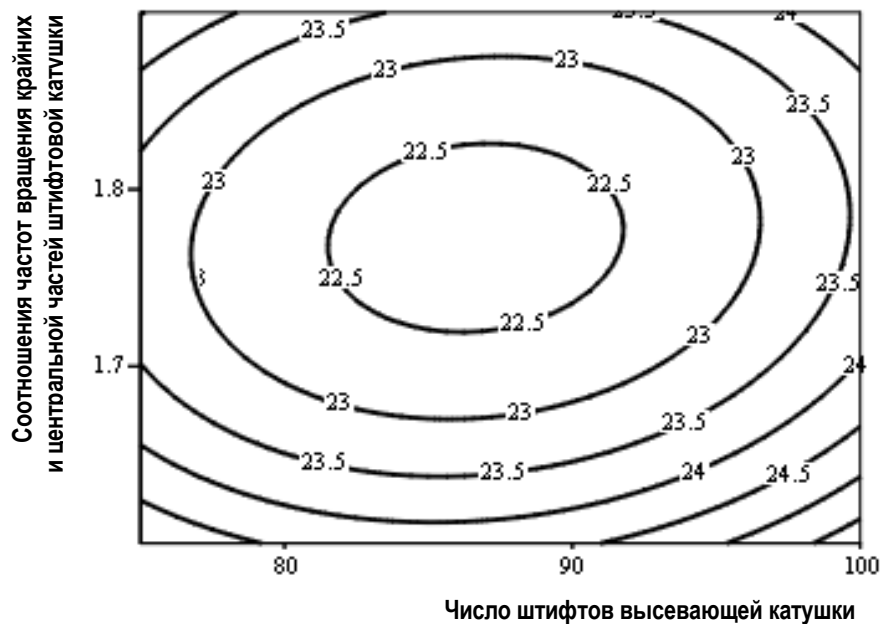
Найдены оптимальные значения факторов: число штифтов высевающей катушки  $k = 87$ , передаточное отношение редуктора, приводящего во вращение крайние штифтовые диски,  $i = 1,77$ , средняя частота вращения центральной части высевающей катушки  $n = 16$  об/мин. При данных значениях факторов неравномерность продольного высева не превышает 22,5 %.

В результате проведения лабораторно-полевых испытаний было установлено [6], что неравномерность распределения семян и растений в рядке при посеве сеялкой с катушечно-желобчатым высевающим аппаратом и сеялкой с катушечно-штифтовым высевающим аппаратом составила, соответственно: для семян – 64,5 и 53,8%; для растений – 72,3 и 58,1%.

В результате динамика появления всходов при посеве семян яровой пшеницы экспериментальной сеялкой была выше на 16%, чем при посеве сеялкой с катушечно-желобчатым высевающим аппаратом.



а



б

Рис. 2. Факторная зависимость неравномерности продольного высева:  
а – поверхность отклика; б – сечение поверхности отклика

**Заключение.** Обеспечение высокого качества посева можно достичь за счет применения катушечно-штифтового высевающего аппарата предлагаемой конструкции. Лучшая неравномерность продольного высева обеспечивается при оптимальных значениях факторов: число штифтов высевающего аппарата  $k = 87$ , передаточное отношение редуктора, приводящего во вращение крайние штифтовые диски,  $i = 1,77$ , средняя частота вращения центральной части высевающей катушки  $n = 16$  об/мин. При данных значениях факторов неравномерность продольного высева не превышает 22,5%. Лабораторно-полевые испытания экспериментальной сеялки, оснащенной катушечно-штифтовым высевающим аппаратом, показали, что неравномерность распределения семян и растений в рядке, оказалась ниже, чем при посеве сеялкой, оснащенной катушечно-

желобчатым высевальным аппаратом. В результате динамика появления всходов оказалась выше на 16%.

#### Библиографический список

1. Доспехов, В. А. Методика полевого опыта (с обоснованием статистической обработки результатов исследований) / В. А. Доспехов. – М. : Колос, 1979. – 416 с.
2. Исаев, Ю. М. Высев семян спирально-винтовым аппаратом / Ю. М. Исаев, Н. М. Семашкин, В. А. Злобин // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8-3. – С. 75-76.
3. Ларюшин, Н. П. Обоснование выбора конструкции высевального аппарата зерновой сеялки / Н. П. Ларюшин, А. В. Шуков, В. А. Мачнев // Нива Поволжья. – 2012. – № 2 (23). – С. 59-65.
4. Ларюшин, Н. П. Результаты лабораторных исследований высевального аппарата / Н. П. Ларюшин, В. Н. Кувайцев, С. Д. Загудаев [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-1. – С. 140-144.
5. Пат. №2473200 РФ, МПК А01С 7/12. Высевальный аппарат / Петров А. М., Сыркин В. А., Васильев С. А. [и др.]. – № 2011122286/13 ; заявл. 01.06.2011 ; опубл. 27.01.13, Бюл. №3. – 7 с.
6. Петров, А. М. Результаты полевых исследований экспериментальной селекционной сеялки с катушечно-штифтовым высевальным аппаратом / А. М. Петров, В. А. Сыркин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2. – С. 36-39.
7. Сыркин, В. А. Обоснование конструктивно-технологической схемы катушечно-штифтового высевального аппарата / В. А. Сыркин, А. М. Петров, С. А. Васильев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 3. – С. 44-46.
8. Сыркин, В. А. Результаты экспериментальных исследований катушечно-штифтового высевального аппарата / В. А. Сыркин, А. М. Петров // Достижения науки агропромышленному комплексу : сб. науч. тр. – Кинель : РИЦ СГСХА. – 2013. . – С. 85-88.
9. Isaev, Yu. M. Theoretical studies of movement of loose material in a dosing device / Yu. M. Isaev, N. P. Kryuchin, N. M. Semashkin, A. N. Kryuchin // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – Т. 9, № 5. – С. 834-840.
10. Kotov, D. N. Determination of speed of movement of the particle on the rotating cone with shovels / D. N. Kotov, Yu. M. Isaev, N. P. Kryuchin [et al.] // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 1507-1514.

#### References

1. Dospikhov, V. A. (1979). Metodika polevogo opita (s obosnovaniem statisticheskoi obrabotki rezulitativ issledovaniia) [Field experiment method (with substantiation of statistical processing of research results)]. Moscow: Kolos [in Russian].
2. Isaev, Yu. M., Semashkin, N. M., & Zlobin, V. A. (2014). Visev semian spiralino-vintovim apparatom [Seeding with a spiral-screw machine]. *Mezhdunarodnii zhurnal eksperimentalinogo obrazovaniia – International Journal of Experimental Education*, 8-3, 75-76 [in Russian].
3. Laryushin, N. P., Shukov, A. V., & Machnev, V. A. (2012). Obosnovanie vibora konstrukcii visevayushchego apparata zemnoy seiarki [Substantiation of grain seeder design]. *Niva Povolzhia – Niva Povolzhya*, 2 (23), 59-65 [in Russian].
4. Laryushin, N. P., Kuvaitsev, V. N., Zagudaev, S. D., Shukov, A. V., Shumaev, V. V., & Polikanov, A. V. (2013). Rezulitati laboratornih issledovaniiv visevaiushchego apparata [Laboratory studies of the seeding apparatus]. *Fundamentalnie issledovaniia – Fundamental research*, 10-1, 140-144 [in Russian].
5. Petrov, A. M., Syrkin, V. A., Vasilyev, S. A., Petrov, M. A., & Kotov, D. N. (2013). Visevaiushchii apparat [Seeding device]. *Patent 2473200 Russian Federation*, №2011122286/13 [in Russian].
6. Petrov, A. M., & Syrkin, V. A. (2017). Rezulitati polevih issledovaniiv eksperimentalinoy selekcionnoy seiarki s katushechno-shtiftovim visevaiushchim apparatom [Results of a field test of an experimental nursery planter with a peg-wheel feed]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 2, 36-39 [in Russian].
7. Syrkin, V. A., Petrov A. M., & Vasiliev S. A. (2011). Obosnovanie konstrukcionno-tekhnologicheskoi skhemi katushechno-shtiftovogo visevaiushchego apparata [Substantiation of design and process scheme of a peg-wheel feed]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 3, 44-46 [in Russian].
8. Syrkin, V. A., & Petrov, A. M. (2013). Rezulitati eksperimentalnih issledovaniiv katushechno-shtiftovogo visevaiushchego apparata [Results of an experimental test of a peg-wheel feed]. *Achievements of science in the agro-industrial complex '13: sbornik nauchnykh trudov – collection of proceedings*. (pp. 85-88). Kinel: PC Samara SAA [in Russian].

9. Isaev, Yu. M., Kryuchin N. P., Semashkin N. M., & Kryuchin A. N. (2018). Theoretical studies of movement of loose material in a dosing device. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9, 5, 834-840.
10. Kotov, D. N., Isaev, Yu. M., Kryuchin, N. P., Semashkin, N. M., & Kryuchin, A. N. (2019). Determination of speed of movement of the particle on the rotating cone with shovels. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10, 2, 1507-1514.