

## Оценка влияния настроечных параметров щелевого высевающего аппарата на вероятность защемления семян

А.Ю. Несмиян<sup>1</sup>, К.П. Дубина<sup>1</sup>, И.П. Трояновская<sup>2</sup>, С.А. Войнаш<sup>3</sup>, А.А. Ореховская<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Донской государственный аграрный университет, Зерноград, Россия;

<sup>2</sup> Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия;

<sup>3</sup> Казанский федеральный университет, Казань, Россия;

<sup>4</sup> Белгородский государственный аграрный университет, Белгород, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Одним из перспективных направлений совершенствования посевных машин является внедрение в производство аппаратов избыточного давления, применение которых не только повышает качество работы сеялок при значительных рабочих скоростях, но и расширяет их функциональные возможности, в том числе и за счёт универсализации. Рациональное соотношение настроечных параметров высевающих аппаратов применительно к заданным условиям работы в значительной степени зависит от технологических свойств посевного материала. Например, очевидно, что вероятность защемления семян высевающим диском универсального щелевого аппарата избыточного давления зависит от соотношения их толщины и радиального размера питающей щели (который можно варьировать в определенном диапазоне). Определение размерных характеристик семян сельскохозяйственных культур будет способствовать повышению эффективности настроек высевающих аппаратов посевных машин.

**Цель работы** — оценка влияния размера радиального зазора между корпусом и высевающим диском универсального щелевого аппарата избыточного давления на вероятность защемления семян.

**Методы.** Исследование проводилось на примере семян ярового ячменя сорта Вакула урожая 2022 года. На первом этапе с помощью электронного штангенциркуля с точностью до 0,01 мм определялись размеры семян (выборка — 300 шт.), после чего рассчитывались их основные статистические характеристики. На втором этапе была предложена методика определения вероятности защемления семян между корпусом аппарата и рабочей кромкой высевающего диска с использованием полученных ранее данных, в предположении нормального распределения значений толщины семян.

**Результаты.** Было установлено, что в рассматриваемом случае рациональным можно считать радиальный размер питающей щели около 1,9 мм.

**Заключение.** Предложенная методика может быть применена к семенам других сортов различных культур.

**Ключевые слова:** универсальные посевные машины; высевающий аппарат избыточного давления; высевающий диск; питающая щель; вероятность защемления семян; размерные характеристики семян; ячмень.

### Как цитировать:

Несмиян А.Ю., Дубина К.П., Трояновская И.П., Войнаш С.А., Ореховская А.А. Оценка влияния настроечных параметров щелевого высевающего аппарата на вероятность защемления семян // Тракторы и сельхозмашины. 2025. Т. 92, № 3. С. **x-y**. DOI: 10.17816/0321-4443-636584 EDN: GCCZYH

## Assessment of the Influence of the Adjustment Parameters of the Slot Seed-feeding Device on the Probability of Seed Pinching

Andrey Yu. Nesmiyan<sup>1</sup>, Konstantin P. Dubina<sup>1</sup>, Irina P. Troyanovskaya<sup>2</sup>, Sergey A. Voynash<sup>3</sup>, Alexandra A. Orekhovskaya<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Don State Agrarian University, Zernograd, Russia;

<sup>2</sup> South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia;

<sup>3</sup> Kazan Federal University, Kazan, Russia;

<sup>4</sup> Belgorod State Agrarian University, Belgorod, Russia

### ABSTRACT

**BACKGROUND:** One of the promising areas for improving seeding machines is manufacturing of excess pressure devices, the use of which not only improves the quality of seeders operation at significant operating speeds, but also expands their functionality due to versatility. Reasonable ratio of adjustment parameters of seed-feeding devices with regard to operating modes largely depend on the technological properties of the seed. Thus, for example, it is obvious that the probability of seeds being pinched by the seed disk of a universal excess pressure slot-type device depends on the ratio of their thickness and the radial size of the dosing slot (which is variable within a certain range). Determining the dimensional characteristics of agricultural crop seeds will help to increase the efficiency of the settings of seed-feeding devices of seeding machines.

**AIM:** Assessment of the influence of the size of the radial gap between the housing and the seeding disk of a universal excess pressure slot-type device on the probability of seed pinching.

**METHODS:** The study was carried out on the example of spring barley seeds of the Vakula variety, harvested in 2022. At the first stage, the sizes of seeds were determined with an accuracy of 0.01 mm using an electronic caliper (300 pieces in sampling), followed by analysis of main statistical characteristics. At the second stage, the method for determining the probability of seed pinching between the device body and the working edge of the seed disk using previously obtained data, assuming a normal distribution of seed thickness values, was proposed.

**RESULTS:** It was found that in the case under consideration, the radial size of the dosing slot of about 1.9 mm can be considered reasonable.

**CONCLUSION:** The proposed method can be applied to seeds of other varieties of various crops.

**Keywords:** universal sowing machines; excessive pressure seed-feeding device; seed disc; dosing slot; possibility of seed pinching; size characteristics of seeds; barley.

### To cite this article:

Nesmiyan AYu, Dubina KP, Troyanovskaya IP, Voynash SA, Orekhovskaya AA. Assessment of the Influence of the Adjustment Parameters of the Slot Seed-feeding Device on the Probability of Seed Pinching. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2025;92(3):x-y. DOI: 10.17816/0321-4443-636584 EDN: GCCZYH

## ОБОСНОВАНИЕ

Земледелие — одно из наиболее значимых, с точки зрения выживания человечества, направлений его деятельности. Эволюция земледелия закономерно связана с развитием посевной сельскохозяйственной техники.

Технология посева зависит от нормы высева, климатических условий, требований к распределению семян по площади поля и рациональной глубины заделки семян [1].

Важным узлом посевных машин (сеялок) являются их дозирующие системы. На сегодняшний день в Российской Федерации наибольшее распространение получили две конструкции: катушечные (желобчатые) высевальные аппараты и вакуумные аппараты точного высева [2–3].

Катушечные аппараты используются для дозирования и подачи в семяпровод семян сплошного сева, то есть культур, высеваемых большими дозами (3–6 млн. штук на гектар) с использованием рядового, полосового или безрядкового способа распределения их по площади поля. Конструкция высевальных аппаратов таких комплексов представляют сложную дозирующую пневмораспределяющую систему [4–6].

Вакуумные высевальные аппараты применяются для дозирования семян пропашных культур в конструкции пунктирных сеялок, позволяющих реализовывать широкорядный, пунктирный, гнездовой, квадратно-гнездовой и ленточный способы посева [7, 8].

Иногда в конструкциях сеялок (как пропашных, так и сплошного сева) применяются вибрационные аппараты. Однако они не получили широкого распространения [9, 10].

В последнее время появились исследования, позволяющие предположить перспективность аппаратов избыточного давления экстрабарического типа [11]. Применение таких аппаратов не только повышает качество работы сеялок при значительных скоростях эксплуатации, но и расширяет их функциональные возможности за счёт универсализации, так как одним аппаратом можно дозировать семена зерновых, бобовых и технических культур.

Исследователями предложены различные варианты щелевых высевальных аппаратов: с горизонтальным [12, 13] или вертикальным [14] расположением приводных валов.

Вместе с тем, одним из значимых аспектов при посеве является качество посевного материала. В связи с этим, вопросы травмирования семян сохраняют свою актуальность независимо от типа посевного аппарата [15–17]. В аппаратах экстрабарического типа массовый высев осуществляется через питающую щель между корпусом аппарата и высевальным диском, где возможно защемление и травмирование семян [18].

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

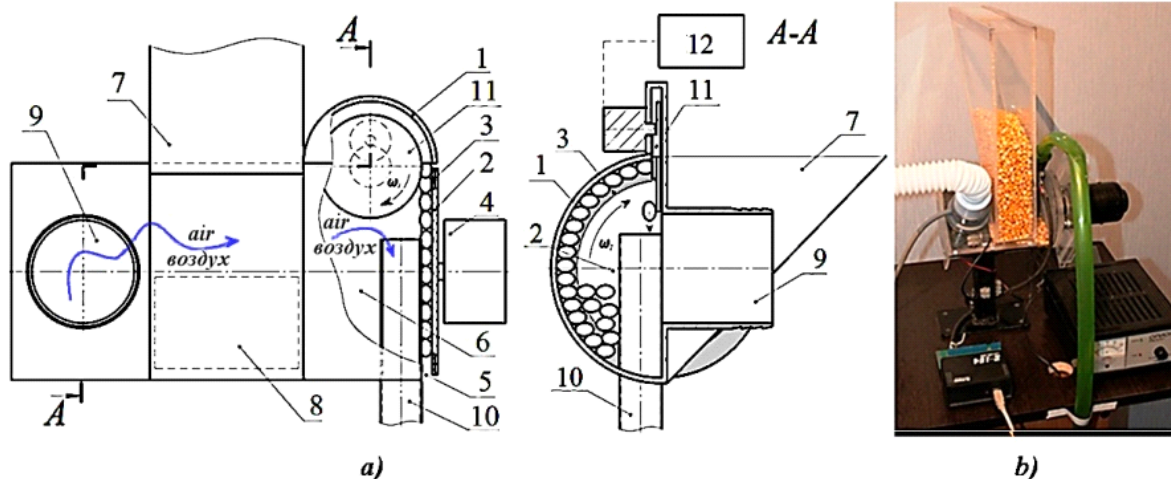
Целью исследования является определение рационального значения размера питающей щели в посевном аппарате избыточного давления, позволяющее избежать защемления и травмирования семян сельскохозяйственных культур сплошного сева.

## МЕТОДЫ

Учеными Хижняк В.И. и Яценко П.Л. представлена конструкция щелевого высевального аппарата избыточного давления, обеспечивающая возможность бесступенчатого изменения нормы высева семян с различными физико-механическими свойствами от 20–30 тыс. до 10 млн. шт./га [19, 20].

Этот щелевой аппарат экстрабарического типа (рис. 1) содержит остов 1, дисковый рабочий элемент 2 с фрикционной накладкой 3, установленный на валу шагового электродвигателя 4. Диск 3 расположен относительно остова 1 так, что между ним и кромками остова формируется

питающая щель 5, через которую внутренняя рабочая полость 6 аппарата сообщается с атмосферой. Бункер для семян 7 связан с рабочей полостью аппарата окном 8 и оснащён герметично прилегающей крышкой, исключающей потери воздуха в этом направлении. На остова 1 смонтировано сопло подачи воздуха 9, а внутри остова — заборное сопло 10, связанное с пневмосемяпроводом. В заборной части сопло 10 имеет квадратное сечение, и одна его грань примыкает к рабочей поверхности дискового элемента 2. Над заборным соплом 10, в верхней части остова 1 размещён инициирующий диск 11, управляемый блоком 13 из кабины трактора.



Использование рисунка разрешено представителями правообладателя Яценко П.Л. и Хижняком В.И. 16.06.2025

**Рис. 1.** Конструктивная схема (а) и опытный экземпляр (б) щелевого высевающего аппарата В.И. Хижняка и П.Л. Яценко [19, 20]: 1 — остова; 2 — дисковый рабочий элемент; 3 — фрикционная накладка; 4 — электродвигатель; 5 — питающая щель; 6 — рабочая зона; 7 — бункер для семян; 8 — окно для подачи семян; 9 — сопло для подачи воздуха; 10 — заборное сопло; 11 — инициирующий диск; 12 — блок управления.

**Fig. 1.** Design diagram (a) and prototype (b) of the V.I. Khizhnyak and P.L. Yatsenko's slot-type seed-feeding device [19, 20]: 1: base; 2: disk working element; 3: friction lining; 4: electric motor; 5: feeding slot; 6: working area of the frame; 7: seed box; 8: seed supply window; 9: air supply nozzle; 10: intake nozzle; 11: initiator disk; 12: control unit.

Рассмотрим подробнее принцип его действия. Семена через окно 8 из бункера 7 попадают в рабочую полость 6 аппарата, где за счёт подачи воздуха через сопло 9, создается его избыточное давление порядка 2–10·кПа. Выходящий в атмосферу через питающую щель 5 воздух обеспечивает прижатие семян к фрикционной накладке 3 дискового рабочего органа 2. За счёт силы трения семена вовлекаются в движение вместе с рабочим органом 2 и подаются к инициирующему диску 11. Поскольку питающая щель 5 в зоне расположения заборного сопла 10 открыта, семена не отрываются от неё при вращении дискового рабочего элемента 2. Таким образом, на протяжении зоны питающей щели 5 формируется их устойчивый односемянный ряд. В соответствии с данными о скорости движения агрегата и заданной норме высева семян в блоке 13 формируются управляющие сигналы, запускающие в работу шаговый электродвигатель 12. При срабатывании электродвигателя 12 инициирующий диск 11 отделяет из сформированного ряда верхнее семя, которое захватывается выходящим из сопла 10 потоком воздуха и через пневмосемяпровод падает в борозду.

Применение цифрового щелевого высевающего аппарата позволяет реализовать управляемый высев и обеспечить бесступенчатую регулировку норм высева семян в достаточно широком диапазоне. Кроме того, из конструкции сеялки исключается большая часть элементов механической трансмиссии, упрощается настройка сеялки на высев заданной нормы семян

## ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ

соответствующей культуры (регулировку можно осуществлять из кабины трактора) и снижается вероятность появления пропусков и групповых подач в рядках посева.

Настройка параметров высевающего аппарата в значительной степени зависит от физико-механических свойств дозируемых семян [21]. Регулировка радиального размера питающей щели определяется величиной толщины семян. Их рациональное соотношение обеспечивает качество работы посевного аппарата [22]. В связи с этим, определение размерных характеристик семян сельскохозяйственных культур будет способствовать дальнейшему конструктивному развитию и оптимизации параметров посевных машин.

Исследования проводились на примере семян ярового ячменя сорта Вакула Одесского селекционно-генетического института, включённого в государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации в 2007 году и до сих пор остающегося одним из наиболее урожайных сортов ячменя юга России [23]. Измеряемые семена (элита) были произведены в южной сельскохозяйственной зоне Ростовской области (г. Зерноград) в 2022 году.

Для некалиброванных семян их размеры (длина, ширина и толщина) могут изменяться в достаточно широком диапазоне. Поскольку, в питающей щели могут защемляться семена, размер которых не превышает её радиальный размер  $s$ , то вероятность защемления  $\rho_{\text{защ}}$  семян можно принять в виде [24]:

$$\rho_{\text{защ}}(C) = \int_{C_{\min}}^s \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(C-C_{\min})^2}{2\sigma^2}} dC, \quad (1)$$

где  $s$  — размер питающей щели, представляющий радиальное расстояние между кромкой остова аппарата и образующей поверхностью дискового рабочего элемента, мм;  $C_{\min}$ ,  $C_{\text{ср}}$ ,  $C$  — минимальное, среднее и текущее значения исследуемого размера семян ячменя, мм;  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение величины  $C$ .

Кривая вероятности  $\rho_{\text{защ}}(C)$  подчиняется нормальному закону распределения и является симметричной относительно линии  $C=C_{\text{ср}}$ . При аргументе, стремящемся к бесконечности  $C \rightarrow \infty$ , функция вероятности  $\rho_{\text{защ}}(C)$  асимптотически приближается к оси абсцисс  $\rho_{\text{защ}}(C) \rightarrow 0$ . В практических расчётах принято считать, что все возможные значения случайных величин лежат в диапазоне  $\pm 3\sigma$ . Знание этих особенностей нормального закона распределения позволяет прогнозировать вероятность наступления того или иного события.

Для определения вероятности защемления необходимо знать статистические характеристики распределения размеров семян, определяемые экспериментально. На первом этапе эксперимента отбор проб осуществлялся методом крестообразного деления, дальнейший отбор проводился методом случайных выемок до получения выборки в триста семян.

Измерение размеров семян осуществлялось посредством электронного штангенциркуля с точностью измерений 0,01 мм. Полученные результаты заносились в массив данных и обрабатывались в статистическом редакторе XL (рис. 2).

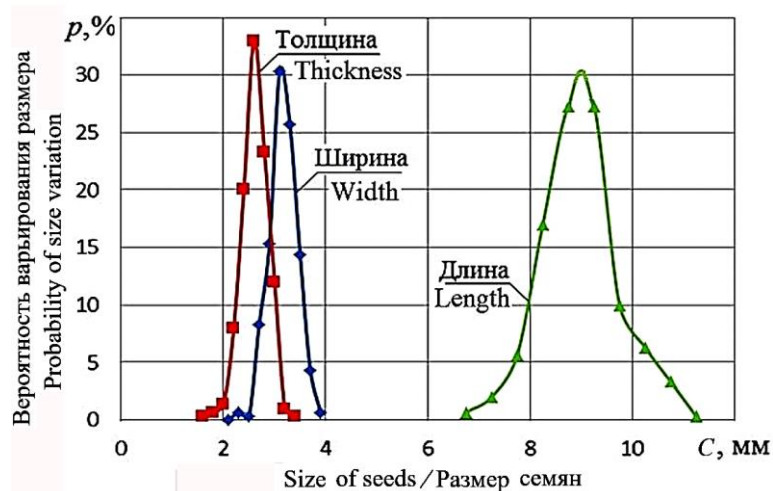


Рис. 2. Размерные характеристики семян ячменя сорта Вакула урожая 2022 года.

Fig. 2. Size characteristics of barley seeds of the Vakula variety, harvested in 2022.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

С точки зрения рассматриваемого технологического процесса из всех размеров семян наибольший интерес представляет наименьший размер — толщина семян. Для неё были определены значения некоторых основных статистических характеристик (табл. 1).

Таблица 1. Итоги статистической обработки результатов измерений

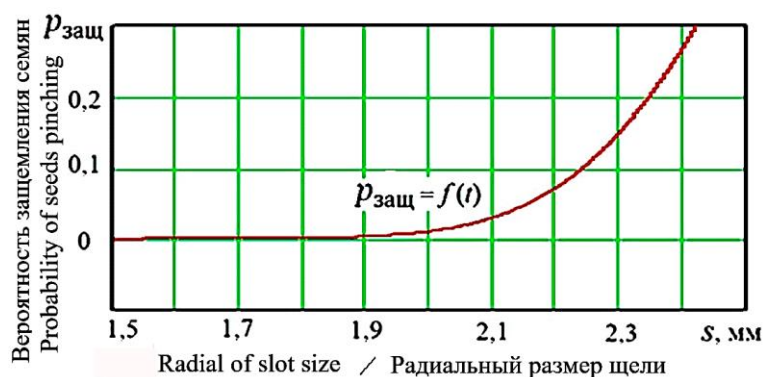
Table 1. Results of statistical processing of measurement results

| Показатель                                       | Толщина |
|--------------------------------------------------|---------|
| Среднее значение толщины семян ячменя, мм        | 2,60    |
| Максимальное значение толщины семян ячменя, мм   | 3,35    |
| Минимальное значение толщины семян ячменя, мм    | 1,55    |
| Среднеквадратическое отклонение толщин семян, мм | 0,25    |
| Коэффициент вариации значений толщин семян, %    | 9,75    |
| Показатель абсолютной ошибки измерений, мм       | 0,01    |
| Показатель относительной ошибки измерений, %     | 0,56    |

Малые значения абсолютной и относительной ошибки измерений (менее 0,6%) подтверждают высокую достоверность полученных результатов. Симметричный колоколообразный характер кривых распределения экспериментально замеренных значений подтверждает нормальный закон распределения.

После подстановки в уравнение (1) экспериментально полученных значений  $C_{\min}$ ,  $C_{\text{ср}}$ , и  $\sigma$  была получена зависимость вероятности защемления  $\rho_{\text{защ}}$  семян ячменя Вакула от радиального размера  $s$  выпускной (дозировочной) щели (рис. 3).





**Рис. 3.** Зависимость вероятности защемления семян  $p_{zh}$  ячменя Вакула от радиального размера питающей щели  $S$ .

**Fig. 3.** Dependence of the probability of pinching  $p_{zh}$  of the Vakula barley seeds on the radial size of the dosing slot  $S$ .

Анализ зависимости (рис. 3) позволяет сделать предположение, что при дозировании семян ячменя сорта Вакула рациональным является радиальный размер питающей щели равный 1,9 мм. При больших значениях этого настроечного параметра вероятность защемления семян элементами высевающего аппарата резко возрастает. Например, при ширине питающей щели около 2,3 мм вероятность защемления семян составляет почти 15%. При меньших значениях возникает потребность в увеличении напора избыточного воздушного потока, что приводит к увеличению нагрузки на пневмосистему сеялки и вал отбора мощности трактора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально определены размерные характеристики семян ячменя сорта Вакула урожая 2022 года. Получены статистические характеристики толщины исследуемых семян: среднее значение — 2,60 мм; среднеквадратическое отклонение значений — 0,25 мм и др.

Разработана методика определения рационального значения настроечного параметра (радиального размера дозирующей щели) в зависимости от размеров (толщины) высеваемых семян. Для посева семян ячменя сорта Вакула рациональное значение радиального размера дозирующей щели составило 1,9 мм.

Разработанная методика оценки влияния радиального размера выпускной щели высевающего аппарата избыточного давления на вероятность защемления семян может быть применима к любым сельскохозяйственным культурам (их сортам и гили гибридам).

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** А.Ю. Несмиян — выбор темы, научная идея, общее руководство работой; К.П. Дубина — разработка методики эксперимента и непосредственное осуществление замеров размеров семян ячменя сорта Вакула; С.А. Войнаш — статистическая обработка результатов эксперимента; И.П. Трояновская — написание текста статьи, редактирование окончательной версии, работа с редакцией; А.А. Ореховская — работа с графическим материалом (подготовка рисунков), перевод аннотации. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

**Этическая экспертиза.** Неприменимо.

**Источники финансирования.** Отсутствуют.

**Раскрытие интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

## THEORY, DESIGN, TESTING

**Оригинальность.** При создании настоящей работы авторы использовали ранее опубликованную открытым доступе иллюстрацию (рис.1).

**Доступ к данным.** Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

**Генеративный искусственный интеллект.** При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

**Рассмотрение и рецензирование.** Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Author contributions:** A.Yu. Nesmiyan: choice of topic, scientific idea, general supervision of the work; K.P. Dubina: development of experimental methodology and direct measurement of the sizes of the Vakula barley seeds; S.A. Voynash: statistical processing of the experimental results; I.P. Troyanovskaya: writing the text of the manuscript, editing the final version, working with the editorial board; A.A. Orekhovskaya: working with graphic material (preparing drawings), translating the abstract. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that issues related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

**Ethics approval:** N/A.

**Funding sources:** No funding.

**Disclosure of interests:** The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

**Statement of originality:** When creating this work, the authors used illustration previously published in the public domain (Fig. 1).

**Data availability statement:** The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work as no new data was collected or created.

**Generative AI:** No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

**Provenance and peer review:** This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Nesmiyan AYu. *Improving the technological process of sowing pumpkin seeds using a pneumatic seeder* [dissertation]. Zernograd; 2003. (In Russ.) EDN: NMFMPW
2. Melnikov DG, Ignatenko IV, Tsarev YuA, et al. Analysis of design and technological solutions of strip sowing machines. *E3S Web of Conferences*. 2020;175. doi: 10.1051/e3sconf/202017505040 EDN: UPZIDO
3. Tsybulevsky V, Tarasenko B, Troyanovskaya I, et al. Selecting the Best Planter Option Based on Harrington Function. *BIO Web of Conference*. 2023;71. doi: 10.1051/bioconf/20237101041, EDN: TBAIPJ
4. Romanyuk NN, Ageychik VA, Ednach VN. On the issue of improving the design of the distribution head of a pneumatic grain seeder. In: *International scientific and practical conference "Modern problems and ways of developing technical service in the agro-industrial complex"*; Nov 24-25; 2022. Minsk; 2022. (In Russ.) EDN: FZVFXQ
5. Patent RUS №211107/23.05.2022. Troyanovskaya IP, Kirichenko ES, Romanyuk NN, et al. *Distributor head of a pneumatic grain seeder*. (In Russ.) EDN: YMNRXQ
6. Patent RUS № 222334/28.03.2023. Romanuk NN, Ageychik VA, Goshko IA, et al. *Device for individual feeding of agricultural crop seeds*. (In Russ.) EDN: JCRHYC



## ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ

7. Khizhnyak VI, Maltsev PS, Taranov VA, et al. Analysis of the construction of massed seed drills. *Don agrarian science bulletin*. 2020;4(52):42–52. (In Russ.) EDN: CHGCAS
8. Khizhnyak VI, Shchirov VV, Nesmiyan AY, et al. Evaluation of the efficiency of row-crop seeders using vacuum and extrabaric seed metering methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;659(1). doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012045 EDN: KLMYSP
9. Zhang ZH, Chen J, Li YA, et al. Design and experiment on the air-blowing and vibrating supply seed tray for precision seeders. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2022;15(3):115–121. doi: 10.25165/j.ijabe.20221503.6873 EDN: ODHNMY
10. Vishnyakov AS, Vishnyakov AA. Research of the vibrating device for small seed cultures sowing. *Bulletin of KSAU*. 2009;6(33):112–116. (In Russ.) EDN: KXGILB
11. Khizhnyak VI, Maltsev PS, Nesmiyan AY, et al. Theoretical research of the process of dosing seeds using an injection air flow. *Don agrarian science bulletin*. 2021;4(56):46–54. (In Russ.) EDN: RBSIAK
12. Patent RUS №2340149/10.12.2008 Lobachevskij PJ, Nesmiyan AY, Khizhnyak VI, et al. *Pneumatic seed-feeding apparatus*. (In Russ.) EDN: TBQGDT
13. Patent RUS №2212778/27.08.2008. Lobachevskij PJ, Khizhnyak VI, Nesmiyan AY, et al. *Pneumatic seeding unit*. (In Russ.) EDN: XVLLKP
14. Patent RUS №2222134/27.01.2004. Lobachevskij PJ, Khizhnyak VI, Nesmiyan AY, et al. *Air-operated seeding unit*. (In Russ.) EDN: OSGNFD
15. Nurullin EG. Experimental determination of injury of wheat seeds in a grain seed drill with a roll-type seeding device. *All-Russian (National) Scientific and Practical Conference "Current Problems of Agricultural Science: Applied and Research Aspects"; February 04–05, 2021*. Nalchik; 2021. (In Russ.) EDN: JBIUWC
16. Tsypuk AM, Rodionov AV, Egyptii AE. Damageability of pine seeds in pneumatic seeder. *Current directions of scientific research in the 21st century: theory and practice*. 2015;3(2-2):90–93. doi: 10.12737/11039 (In Russ.) EDN: TVOZTB
17. Ilchenko SA, Saenko AA, Dolzhikov VV. Study of the issue of injury to the seed material by the reinforcing elements of the seeding apparatus of a rowed seeder. *Active ambitious intellectual youth in agriculture*. 2023;2(15):27–33. (In Russ.) EDN: VMWAHE
18. Khizhnyak VI, Kochergin A., Nesmiyan AY, et al. Experimental research of the process of dosing using a dispenser with forced air flow. *Don agrarian science bulletin*. 2022;15(3(59)):50–60. doi: 10.55618/20756704\_2022\_15\_3\_50-60 (In Russ.) EDN: RKIEKO
19. Khizhnyak VI, Avramenko FV, Yatsenko PL. Digital sowing device. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2014;81(8):7–9. (In Russ.) doi: 10.17816/0321-4443-65509 EDN: SOBNKX
20. Khizhnyak VI, Yatsenko PL. Slotted pneumatic overpressure seeding device. *Don agrarian science bulletin*. 2017(1):88–100. (In Russ.) EDN: YLXXNP
21. Nesmiyan AY, Yakovets AV, Dolzhikov VV, et al. Influence of physical and mechanical properties of row crops seeds on the quality of work of a pneumatic vacuum seeding unit. *Agro XXI*. 2012(4–6):44. (In Russ.)
22. Nikolaev V, Troyanovskaya I, Vanzha V, et al. Grain Movement between the Cylinders of a Semi-Automatic Rotary Dryer During Heating. *E3S Web of Conferences*. 2024;548. doi: 10.1051/e3sconf/202454806019 EDN: EBPKFU
23. Smolkov NA, Frolova AS. Spring barley grade – Vakula. *VII International Student Scientific Conference "In the World of Scientific Discoveries"; March 14-15, 2023*. Ulyanovsk; 2023. (In Russ.) EDN: NUOVJW
24. Nesmiyan A, Khizhnyak V, Kravchenko L, et al. Probabilistic modeling for dynamic processes. *Web of Conferences*. 2020;175. doi: 10.1051/e3sconf/202017505019 EDN: LWKEDF.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>* Трояновская Ирина Павловна,</b><br/>д-р техн. наук, профессор,<br/>профессор кафедры «Тракторы,<br/>сельскохозяйственные машины и земледелие»;<br/>адрес: Россия, 457103, Троицк, ул. Гагарина, д.<br/>13;<br/>ORCID: 0000-0003-2763-0515;<br/>eLibrary SPIN: 6845-7532;<br/>e-mail: tripav63@mail.ru<br/>Соавторы:</p>                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p><b>* Irina P. Troyanovskaya,</b><br/>Dr. Sci. (Engineering), Professor,<br/>Professor of the Tractors, Agricultural<br/>Machinery and Agricultural Industry<br/>Department;<br/>address: 13 Gagarina st, Troitsk, Russia,<br/>457103;<br/>ORCID: 0000-0003-2763-0515;<br/>eLibrary SPIN: 6845-7532;<br/>e-mail: tripav63@mail.ru<br/>Co-Authors:</p>                                                                                                                                                                      |
| <p><b>Несмиян Андрей Юрьевич,</b><br/>д-р техн. наук, профессор,<br/>профессор кафедры «Технологии и средства<br/>механизации агропромышленного комплекса»;<br/>ORCID: 0000-0003-3473-8081;<br/>eLibrary SPIN: 7736-8806;<br/>e-mail: nesmiyan.andrei@yandex.ru</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p><b>Andrey Yu. Nesmiyan,</b><br/>Dr. Sci. (Engineering), Professor,<br/>Professor of the Technologies and<br/>Mechanization of the Agricultural Industry<br/>Department;<br/>ORCID: 0000-0003-3473-8081;<br/>eLibrary SPIN: 7736-8806;<br/>e-mail: nesmiyan.andrei@yandex.ru</p>                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p><b>Дубина Константин Павлович,</b><br/>канд. техн. наук, доцент,<br/>доцент кафедры «Технологии и средства<br/>механизации агропромышленного комплекса»;<br/>ORCID: 0000-0003-0543-9306<br/>eLibrary SPIN: 7736-8806;<br/>e-mail: longonor@yandex.ru</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p><b>Konstantin P. Dubina,</b><br/>Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor,<br/>Assistant Professor of the Technologies and<br/>Mechanization of the Agricultural Industry<br/>Department;<br/>ORCID: 0000-0003-0543-9306<br/>eLibrary SPIN: 7736-8806;<br/>e-mail: longonor@yandex.ru</p>                                                                                                                                                                                                                            |
| <p><b>Войнаш Сергей Александрович,</b><br/>инженер,<br/>младший научный сотрудник<br/>Исследовательской лаборатории<br/>интеллектуальной мобильности;<br/>ORCID: 0000-0001-5239-9883;<br/>eLibrary SPIN: 9532-4604;<br/>e-mail: sergeyvoinash@yandex.ru<br/><b>Ореховская Александра Александровна,</b><br/>канд. с.-х. наук,<br/>инженер по научно-технической информации<br/>Управления научных исследований и<br/>разработок;<br/>ORCID: 0000-0001-8149-7191;<br/>eLibrary SPIN: 4274-8150;<br/>e-mail: orehovskaja_aa@bsaa.edu.ru<br/>* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author</p> | <p><b>Sergey A. Voinash,</b><br/>engineer,<br/>junior research associate of Intelligent Mobility<br/>Research Laboratory;<br/>ORCID: 0000-0001-5239-9883;<br/>eLibrary SPIN: 9532-4604;<br/>e-mail: sergeyvoinash@yandex.ru<br/><b>Alexandra A. Orekhovskaya</b><br/>Cand. Sci. (Agriculture);<br/>engineer for Scientific and Technical<br/>Information of the Scientific Research and<br/>Development Department;<br/>ORCID: 0000-0001-8149-7191;<br/>eLibrary SPIN: 4274-8150;<br/>e-mail: orehovskaja_aa@bsaa.edu.ru</p> |