



Исследование процесса подачи семян пропашных культур вакуумным аппаратом точного высева

А. Ю. Несмиян¹✉, К. П. Дубина¹, А. Ф. Бутенко¹,
А. П. Жигайлова¹, С. А. Войнаш², А. А. Ореховская²

¹ Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ

(г. Зерноград, Российская Федерация)

² Казанский федеральный университет
(г. Казань, Российская Федерация)

✉ nesmiyan.andrei@yandex.ru

Аннотация

Введение. Производительность сеялок точного высева зависит от многих факторов, в том числе и от функциональных возможностей их дозирующих систем, модернизация которых возможна только на основе достоверных закономерностей, позволяющих прогнозировать показатели поштучной подачи семян в борозду.

Цель исследования. Анализ влияния диаметра присасывающих отверстий аппарата точного высева и создаваемого в них разрежения на характеристики подачи семян основных пропашных культур.

Материалы и методы. Результаты исследования получены на основании серии экспериментов по высеву семян кукурузы и подсолнечника аппаратом сеялки МС-8, принцип действия которого можно считать типовым для вакуумных посевных машин.

Результаты исследования. Получены эмпирические зависимости частностей нулевых и групповых подач семян таких пропашных культур, как кукуруза и подсолнечник от площади присасывающих отверстий и величины разрежения в вакуумной камере.

Обсуждение и заключение. Полученные количественные оценки носят частный характер и могут отличаться для семян с другими технологическими свойствами даже одной культуры. Обобщающими являются данные о том, что частота формирования пропусков семян пропорциональна величине силы присасывания в рабочей плоскости дозирующего элемента, независимо от его площади. В то же время вероятность образования двойных подач зависит от площади дозирующих отверстий – при постоянной силе присасывания уменьшение их диаметра приводит к уменьшению частоты двойных подач. Полученные данные позволяют рассматривать совместное варьирование величины разрежения в вакуумной камере и диаметра присасывающих отверстий как эффективные инструменты повышения качества подачи семян.

Ключевые слова: семена кукурузы и подсолнечника, вакуумная пропашная сеялка, аппарат точного высева, высевающий диск, присасывающие отверстия, разрежение, сила присасывания, подача семян

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Несмиян А. Ю., Дубина К. П., Бутенко А. Ф., Жигайлова А. П., Войнаш С. А., Ореховская А. А., 2024



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Исследование процесса подачи семян пропашных культур вакуумным аппаратом точного высева / А. Ю. Несмиян [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34, № 3. С. 388–406. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202403.388-406>

The Study of the Process of Supplying Seeds of Row Crops Using a Vacuum Seed-Placing Unit

A. Yu. Nesmiyan^a✉, K. P. Dubina¹, A. F. Butenko¹,
A. P. Zhigailova¹, S. A. Voinash², A. A. Orekhovskaya²

^a Azov-Black Sea Engineering Institute,
Donskoy State Agrarian University
(Zernograd, Russian Federation)

^b Kazan Federal University
(Kazan, Russian Federation)

✉ nesmiyan.andrei@yandex.ru

Abstract

Introduction. The performance of precision seeders depends on many factors, including the functionality of their dosing systems, the modernization of which is possible only on the basis of patterns, which allows forecasting the indicators of single seed placing into a furrow.

Aim of the Study. The study is aimed at analyzing the influence of the diameter of the suction holes of seed-placing units and the rarefaction created in them on the characteristics of placing seeds of the main row crops.

Materials and Methods. The results of the study were obtained based on a series of experiments on sowing corn and sunflower seeds using an MS-8 seeder, the operation principle of which can be considered typical for vacuum seed-placing units.

Results. There have been obtained empirical dependences of the particular features of zero and group placing seeds of such row crops as corn and sunflower on the area of the suction holes and the rarefaction in the vacuum chamber.

Discussion and Conclusion. The quantitative estimates obtained may differ for seeds of the same crop, but having different technological properties. The general factor is that the frequency of missing seeds is proportional to the suction force magnitude in the working plane of the metering element, regardless of its area. At the same time, the probability of double seed placing depends on the area of the metering ports with a constant suction force, a decrease in their diameter leads to a decrease in the frequency of double seed placing. The data obtained allow considering joint variations in the magnitude of the rarefaction in the vacuum chamber and the diameter of the suction holes as effective tools for improving the seed placing quality.

Keywords: corn and sunflower seeds, vacuum row crop seeder, seed-placing unit, seed disc, suction holes, rarefaction, suction force, seed placing

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Nesmiyan A. Yu., Dubina K. P., Butenko A. F., Zhigailova A. P., Voinash S. A., Orekhovskaya A. A. The Study of the Process of Supplying Seeds of Row Crops Using a Vacuum Seed-Placing Unit. *Engineering Technologies and Systems*. 2024;34(3):388–406. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202403.388-406>

Введение. В современной России парк посевных машин¹ [1–3] марочно превосходит парк сеялок, используемых в советский и постсоветский периоды, однако существенно уступает ему количественно. Это привело к возрастанию нагрузки на одну сеялку, в том числе и при посеве пропашных культур. Практически повсеместно годовая загрузка посевных машин существенно превосходит рекомендуемые значения² [4–6], а в отдельных хозяйствах при посеве пропашных культур загрузка доходит до 300–500 га на машину (при примерном нормативном значении около 200 га). В свою очередь, это приводит к необходимости увеличения скоростей движения посевных агрегатов³, к необходимости повышения их функциональных возможностей, дальнейшему конструктивному совершенствованию [7–9], поскольку сроки посева при благоприятном соотношении температуры почвы и её влажности – важный фактор повышения эффективности технологий [10–12].

Обзор литературы. Производительность сеялок точного высева зависит от многих факторов, один из основных – функциональные возможности дозирующих систем (высевающих аппаратов), модификация или модернизация которых возможна только на основе достоверно установленных закономерностей, позволяющих проследить зависимость качественных показателей функционирования высевающих аппаратов от их параметров и режимов работы.

Сотрудниками научных или образовательных организаций и специалистами предприятий сельхозмашиностроения ведется постоянная работа, направленная на совершенствование конструкции высевающих аппаратов: широко применяются аппараты с закрытой подвижной вакуумной камерой [13; 14], изменяются конструкции сбрасывателей и (или) ворошителей семян [15–17]; внедряются оригинальные дозирующие элементы [18–20], разрабатываются аппараты для высева семян с экзотическими физико-механическими свойствами [21–23] и аппараты, работающие на новых принципах дозирования⁴ [24–26], расширяется применение в конструкции дозирующих систем посевных машин элементов цифровизации и автоматизации [27–29] и т. д.

В отечественном агропроме наиболее широкое применение получили пропашные сеялки с вакуумными системами дозирования, поэтому целью представленного исследования является анализ влияния диаметра присасывающих отверстий аппаратов точного высева и создаваемого в них разрежения на характеристики

¹ Оптимизация вакуумных высевающих аппаратов пропашных сеялок : моногр. / А. Ю. Несмиян [и др.]. зерноград, 2013. 176 с.; Chernyshov A. V., Soldatov Yu. I. Experimental Research of Soybean Seeding Quality by the Sowing Section of the TSM-4150 Seeder // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы VIII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (на иностранных языках). Воронеж, 2022. С. 78–82.

² Нормативная годовая загрузка тракторов и сельскохозяйственных машин (справочное). URL: <https://studfile.net/preview/2905742/page:58> (дата обращения: 05.07.2023).

³ Несмиян А. Ю. Совершенствование технологического процесса высева семян тыквы аппаратом пневматической сеялки : дис. ... канд. техн. наук. зерноград, 2003. 139 с.

⁴ QDAF, Varieties and Planting of Maize // Department of Agriculture, Fisheries and Forestry Queensland. 2016. URL: <https://www.daf.qld.gov.au/business-priorities/agriculture/plants/crops-pastures/broadacre-field-crops/varieties-planting-maize> (дата обращения: 17.09.2021); World of Corn. U.S Production per State from USDA Data // URL: <http://www.worldofcorn.com/#us-corn-production-by-state> (дата обращения: 17.09.2021).

подачи семян таких пропашных культур, как кукуруза и подсолнечник, массово возделываемых не только в России, но и во всем мире⁵ [30–32].

При работе большинства аппаратов точного высева (рис. 1) можно выделить ряд характерных этапов [2]:

1. Истечение семян из бункера через питающую горловину в семенную камеру;
2. Захват одного семени или их группы дозирующими элементами, в подавляющем большинстве случаев круглыми присасывающими отверстиями, выполненными в высевающем диске, и последующий вынос из семенной камеры;
3. Удаление «лишних» семян (всех, кроме основных), присосавшихся к дозирующим элементам;
4. Транспортировка оставшихся у дозирующих элементов семян при вращении высевающего диска в зону сброса;
5. Сброс семян в сошниковое пространство (в борозду).

Все этапы (за исключением четвертого) достаточно важны и ощутимо влияют на распределение семян пропашных культур в рядах посева, тем не менее многие исследователи концентрируются именно на втором этапе (захват и вынос семян) как определяющем условия реализации последующих этапов.

В вакуумных высевающих аппаратах (ВВА) этот этап (процесс) реализуется за счет совместного действия сил присасывания и трения высевающего диска о захваченное семя у зоны присасывающих отверстий [33–35].

Интерпретация данных, полученных в предыдущих исследованиях [33–35], однозначно указывает на то, что показатели подачи семян ВВА зависят от соотношения (λ) группы сил, способствующих захвату семян (условно – полезных сил $P_{\text{пол}}$), и группы сил R , противодействующих этому процессу. В упрощенном виде:

$$\lambda = \frac{P_{\text{пол}}}{R} \text{ или } \lambda = \frac{\mu(0,25k_{\text{пр}}d^2H + \gamma \cdot h \cdot A \cdot g \cdot \text{tg } \beta)}{R},$$

где $P_{\text{пол}}$ – величина равнодействующей условно полезных сил, Н; R – величина равнодействующей сил, препятствующих выносу семени из общего массива, Н; μ – коэффициент, характеризующий фрикционные свойства взаимодействующей пары «семя – кромка присасывающего отверстия»; $k_{\text{пр}}$ – эмпирический коэффициент, учитывающий «потери» воздуха на просасывание в зазоры между семенем и кромкой присасывающего отверстия; d и H – соответственно диаметр (м) присасывающего отверстия и величина создаваемого в нем разрежения, Па; γ – насыпная плотность слоя семян, кг/м³; h – высота слоя семян в семенной камере над захватываемым семенем, м; A – площадь Миделева сечения семени, м²; g – ускорение свободного падения, м/с²; β – угол укладки семян в семенной камере, град.

Если коэффициент λ меньше единицы ($\lambda < 1$), то семя захватываться не будет. Соответственно, вероятность пропуска, в предположении нормального распределения величин [39] варьирования «полезной» и «вредной» сил, может быть определена исходя из зависимости:

⁵ Millerovoselmash. MS-8 Block-Type Seeder (Basic Model). Operation Manual (for an Operator). Millerovo. 2011. URL: https://www.rosagromir.ru/upload/iblock/fb0/MS_8_manual.pdf (дата обращения: 25.02.2024).

$$P_0 = \int_{\lambda_{\min}}^1 \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{(\lambda - \lambda_{\text{cp}})^2}{2\sigma^2}} d\lambda,$$

здесь $\lambda_{\min} = \frac{P_{\text{пол min}}}{R_{\text{max}}}$, $\lambda_{\text{cp}} = 0,5(\varepsilon_{\text{max}} + \varepsilon_{\text{min}})$, $\sigma = \frac{1}{6}(\lambda_{\text{max}} - \lambda_{\min})$, $\lambda_{\text{max}} = \frac{P_{\text{пол max}}}{R_{\min}}$, где λ_{\min} , λ_{max} и λ_{cp} – соответственно минимальное, максимальное и среднее расчетные значения соотношения условно «полезных» сил и сил сопротивления (зависят от варьирования физико-механических свойств высеваемых семян, отдельных параметров и режимов работы ВВА); σ – расчетное значение среднеквадратического отклонения величины ε .

Если $\lambda \geq 1$, то возможны два характерных исхода – присасывающим отверстием будет захвачено одно семя или группа семян (два и более). Первый обеспечивается в том случае, если коэффициент λ незначительно превышает единицу или равен ей, второй – при $\lambda \gg 1$ [38; 39]. При этом размерные характеристики семян, их насыпная плотность, угол передачи силы давления вышележащих семян и многие другие факторы при работе ВВА можно считать неуправляемыми, а часть нефиксируемыми. По большому счету можно утверждать, что на практике обеспечение примерно необходимого соотношения сил λ достигается за счет подбора значений диаметра круглых дозирующих элементов (d , м) и разрежения (H , кПа) в них. На основе сочетания экспериментальных исследований и практического опыта были подобраны рациональные величины двух этих факторов. Так, например, при высева семян кукурузы рекомендуются величины $d_{\text{кук}} = 4 - 5$ мм и $H_{\text{кук}} = 4,0 - 4,5$ кПа, а при высева подсолнечника – $d_{\text{подс}} = 2,5 - 3$ мм и $H_{\text{подс}} = 4,0 - 4,5$ кПа. Такие значения исследуемых факторов обеспечивают практически гарантированный захват семян, но при этом приводят к формированию большого количества групповых подач, наличие которых также отрицательно сказывается на дальнейшем развитии проросших из семян растений, а значит и на урожайности (правда в менее выраженной степени, чем наличие «пропусков»). Для устранения избыточных семян от присасывающих отверстий в конструкции практически всех современных ВВА применяют сбрасыватели «лишних» семян (далее – сбрасыватель), как правило со ступенчатой или пилообразной рабочей поверхностью [2; 15; 35].

Сбрасыватель – довольно простое конструктивно, но сложное в эксплуатации устройство, рациональное положение которого устанавливается «на глаз» и на режимах, не соответствующих рабочим, что делает функционирование высевающего аппарата в определенном диапазоне слабо предсказуемым [2; 15; 35]. Отдельные опыты показали, что «облегчить» работу сбрасывателя можно за счет снижения количества групповых подач семян ещё на этапе их захвата присасывающими отверстиями. Гипотетически можно добиться почти полного отсутствия групповых подач за счет уменьшения площади круглых дозирующих элементов, минимального уровня пропусков и создания необходимой величины разрежения. Однако подбор рационального сочетания диаметра присасывающих отверстий и разрежения возможен только на основе знания зависимостей влияния этих факторов на формирование подачи семян.

Материалы и методы. Исследование проводилось экспериментальным путем при высеве ВВА сеялки МС-8 [34], получившей широкое распространение на юге Российской Федерации, семян кукурузы и подсолнечника (рис. 1). Рассматриваемый ВВА содержит оригинальный штампо-сварной корпус 1, в котором посредством подшипникового узла установлен приводной вал 2, на котором фиксируются высевающий диск 3 и ворошитель семян 4. Для исключения трения высевающего диска 3 о корпус 1 между ними располагается полиамидная прокладка 5. С другой стороны к высевающему диску 3 примыкает крышка 6 с семенной камерой 7, также выполненной из полиамида. В крышке 6 размещается сбрасыватель «лишних» семян 8 с регулировочным механизмом 9. Крышка 6 фиксируется у корпуса 1, в котором изготовлена вакуумная камера 10, связанная с пневмосистемой сеялки разъемными соединениями 11.



Р и с. 1. Исследуемый вакуумный высевающий аппарат
F i g. 1. Vacuum seed-placing unit under study

Источник: составлено авторами статьи.
Source: compiled by the authors.

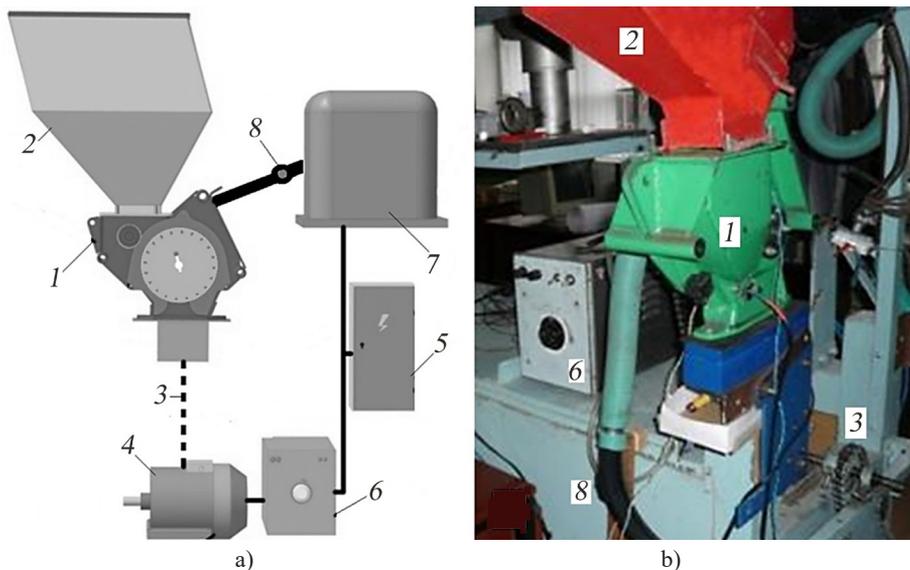
Такой высевающий аппарат отличается оригинальной штампо-сварной конструкцией, однако функционально его можно считать классическим, поскольку принцип его действия характерен для большинства ВВА, используемых как в нашей стране, так и в европейских странах.

Исследуемый высевающий аппарат не эксплуатировался в полевых условиях, наработка в лабораторных условиях составляет около 69 часов, что позволяет говорить о низкой степени изношенности его основных узлов.

Исследование проводилось в лабораторных условиях [34], при этом высевающий аппарат 1 с бункером 2 (рис. 2) закреплялся на стационарной станине.

Привод ведущего вала осуществлялся через трансмиссию 3 от регулируемого электродвигателя 4. Наличие автотрансформатора 6 позволяло устанавливать необходимую частоту вращения высевающего диска. Разрежение в ВВА 1 создавалось пневмоустановкой (экспаустером) 7, а его величина регулировалась положением дроссельной заслонки 8.

Некоторые размерные и массовые характеристики посевного материала, используемого в исследовании, представлены в таблице 1, в которой приняты следующие обозначения: \bar{X} – среднее значение параметра; σ_x – среднее квадратическое отклонение параметра; a_x – ошибка наблюдений (абсолютное значение).



Р и с. 2. Установка для исследования аппаратов точного высева:
 а) схема установки; б) внешний вид стенда; 1 – ВВА; 2 – бункер; 3 – цепные передачи;
 4 – двигатель постоянного тока; 5 – источник электроэнергии;
 6 – автотрансформатор (ЛАТР); 7 – генератор разрежения эжекторного типа; 8 – дроссель

F i g. 2. Installation for studying precision seeding devices:
 а) installation diagram; б) appearance of the stand; 1 – VVA; 2 – bunker; 3 – chain drives;
 4 – DC motor; 5 – source of electricity; 6 – autotransformer (LATR);
 7 – ejector-type vacuum generator; 8 – throttle

Источник: составлено авторами статьи по результатам исследования [34].
 Source: compiled by the authors based on the results of the study [34].

Т а б л и ц а 1
 Table 1

Некоторые размерно-массовые характеристики посевного материала
 Some size and mass characteristics of seed material

Гибрид / Сорт Hybrid / Variety	Показатель / Index	\bar{X}	σ_x	a_x
Подсолнечник Пионер / Sunflower Pioneer	Длина, мм / Length, mm	10,0	0,7	0,05
	Ширина, мм / Width, mm	5,6	0,5	0,03
	Толщин, мм / Thickness, mm	3,3	0,5	0,03
	Масса 1 000 семян, г / Mass of 1 000 seeds, g	58,9	–	–
Кукуруза Зерноградский 282 МВ / Corn Zernogradskiy 282 MV	Длина, мм / Length, mm	11,6	0,7	0,03
	Ширина, мм / Width, mm	8,8	0,8	0,03
	Толщина, мм / Thickness, mm	5,6	0,7	0,03
	Масса 1 000 семян, г / Mass of 1 000 seeds, g	253,6	–	–

Условия проведения эксперимента представлены в таблице 2. В целом при высеве каждой культуры было проведено 15 опытов, каждый из них в трехкратной повторности. В каждой повторности анализировалась подача семян тремястами присасывающими отверстиями. Частота вращения высевашего диска составляла около 0,7 об/сек.

Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

Условия реализации эксперимента
Conditions for the experiment

Подсолнечник / Sunflower						Кукуруза / Corn					
d , мм / mm	Разрежение, H , кПа / Vacuum, H , kPa					d , мм / mm	Разрежение, H , кПа / Vacuum, H , kPa				
Варианты / Variants	1	2	3	4	5	Варианты / Variants	1	2	3	4	5
2,0						2,5					
2,3	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	3,0	5,0	6,5	8,0	9,5	11,0
2,6						3,5					

При проведении эксперимента сбрасыватель «лишних» семян демонтировался из конструкции аппарата, что позволило оценить характеристики реализации этапа «захват и вынос семян».

Результаты исследования. На рисунке 3 представлены результаты экспериментального исследования влияния рассматриваемых факторов на характеристики подачи семян подсолнечника.

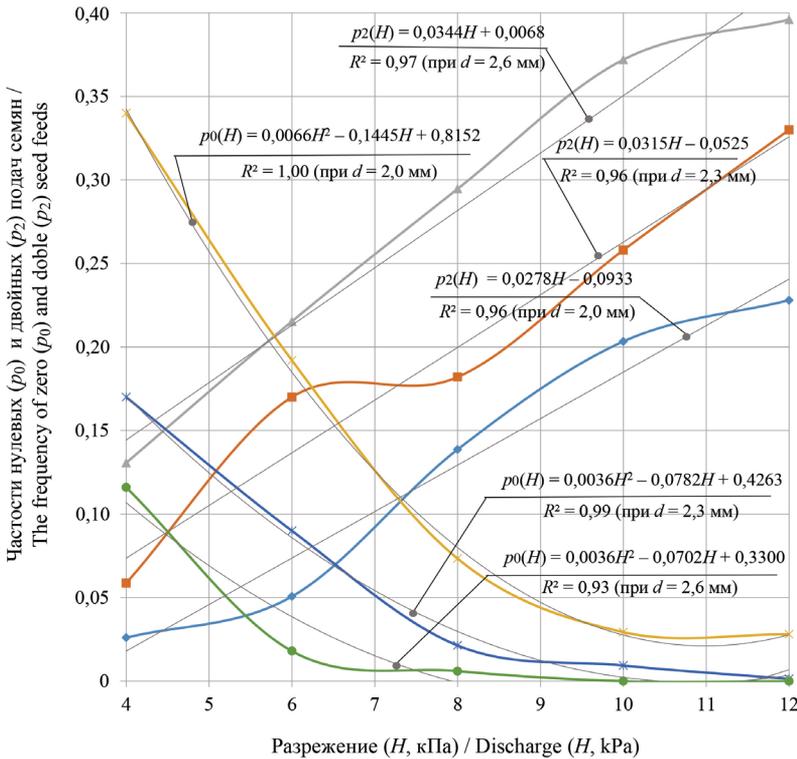
Анализ данных рисунка позволяет сделать вывод, что зависимости изменения частоты нулевых подач от разрежения в вакуумной камере аппарата сеялки МС-8 носят квадратичный характер, а зависимости изменения частоты двойных подач с высокой точностью (более 96 %) могут быть описаны линейными уравнениями.

Суммарное решение регрессионных уравнений, представленных на рисунке 4, позволило выявить обобщенные зависимости частот нулевых (1) и двойных (2) подач семян от двух факторов, определяющих силу присасывания, – диаметра присасывающих отверстий (d , мм) и разрежения (H , кПа):

$$p_{0\text{подс}} = (0,532H^2 - 11,292H + 60,586) / d^6, \quad (1)$$

$$p_{2\text{подс}} = 0,01 (0,24 \cdot d^3 \cdot H - 1,51 d) 10^{-2}. \quad (2)$$

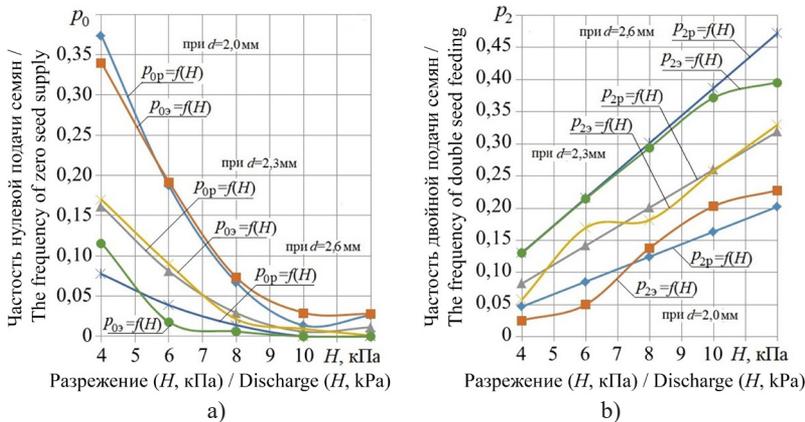
На рисунке 4 представлены соответствующие зависимости, полученные экспериментальным ($p_{0Э}$ и $p_{2Э}$) и расчетным ($p_{0р}$ и $p_{2р}$) путями, которые позволяют предположить достаточно высокую их сходимость.



Р и с. 3. Характеристики работы ВВА МС-8 при подаче семян подсолнечника
 F i g. 3. Characteristics of operation of VVA MS-8 when placing sunflower seeds

Источники: здесь и далее рисунки составлены авторами статьи по результатам лабораторных экспериментов.

Source: in what follows the diagrams compiled by the authors based on the results of the laboratory tests.

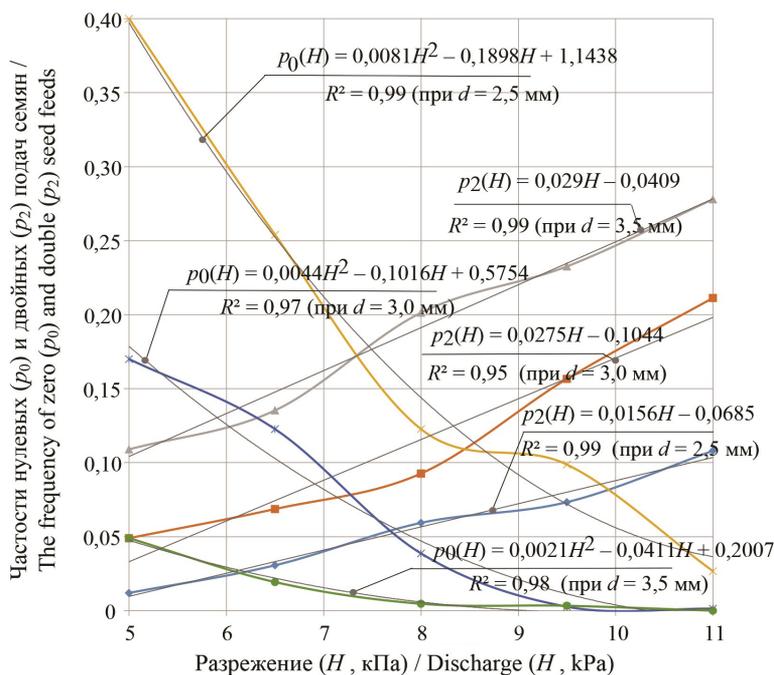


Р и с. 4. Расчетные и экспериментальные зависимости частоты образования нулевых (а) и двойных (б) подач семян подсолнечника от разрежения в вакуумной камере при различных значениях диаметров присасывающих отверстий

F i g. 4. Calculated and experimental frequency dependences formation of zero (a) and double (b) placing of sunflower seeds from the rarefaction in the vacuum chamber at various values of suction holes diameters

Проверка сходимости полученных при высеве подсолнечника результатов, проведенная с использованием критерия Пирсона, показала, что данные, сформированные расчетным путем (с использованием выражений (1–2)), соответствуют экспериментальным с достоверностью 93–94 %. При расчетах частоту образования нулевых и двойных подач выражали в процентах. Полученные значения достоверности одновременно говорят и о возможности практического применения зависимостей (1–2), и о необходимости дальнейших экспериментальных исследований, направленных на снижение влияния на получаемый результат погрешности измерений и случайных факторов.

Результаты экспериментального исследования влияния рассматриваемых факторов на качество дозирования семян кукурузы даны на рисунке 5.



Р и с. 5. Характеристики работы ВВА МС-8 при подаче семян подсолнечника

F i g. 5. Characteristics of operation of VVA MS-8 when feeding sunflower seeds

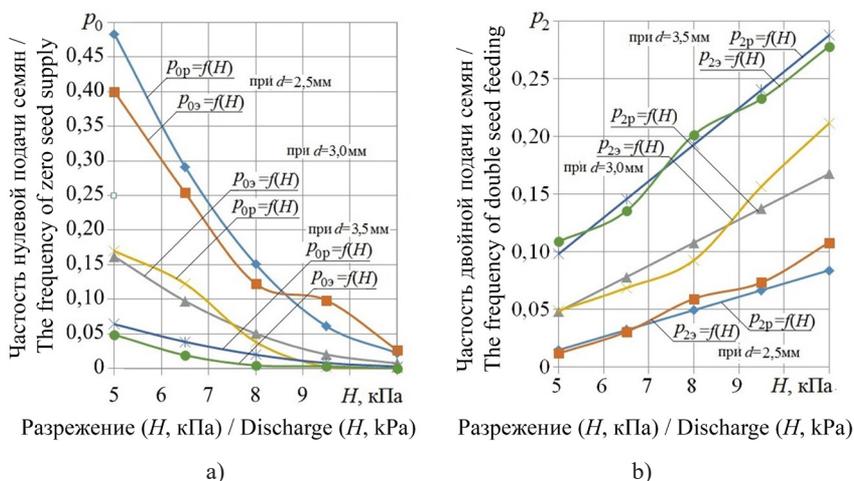
Из представленных данных видно, что при высеве кукурузы зависимости изменения частоты нулевых подач от разрежения в вакуумной камере аппарата сеялки МС-8, так же как и при высеве подсолнечника, носят квадратичный характер, а зависимости изменения частоты двойных подач – линейный.

Суммарное решение полученных при аппроксимации данных (рис. 5) регрессионных уравнений позволило выявить соответствующие обобщенные зависимости частот нулевых (3) и двойных (4) подач семян кукурузы:

$$p_{0\text{кук}} = (2,76H^2 - 63,046H + 364,038) / d^6, \quad (3)$$

$$P_{2\text{кук}} = (0,074 d^3 H - 1,7d) 10^{-2}. \quad (4)$$

На рисунке 6 представлены зависимости, характеризующие влияние разрежения в вакуумной камере на подачу семян кукурузы при различных размерах присасывающих отверстий, полученные экспериментальным ($p_{0э}$ и $p_{2э}$) и расчетным ($p_{0р}$ и $p_{2р}$) путями, позволяющие предполагать достаточно высокую сходимость используемых методов. Проверка, проведенная с использованием критерия Пирсона, показала, что расчетный метод позволяет прогнозировать количество групповых подач семян кукурузы классическим высевальным диском (без дополнительных периферийных ворошителей) с достоверностью близкой к единице (0,99). Достоверность сходимости кривых, представленных на рисунке 6а, составила около 80 %. Можно сделать вывод, что выражение (3), адекватно описывающее качественные характеристики частоты образования пропусков при дозировании семян кукурузы, нуждается в количественном уточнении на основе серии дополнительных экспериментов.



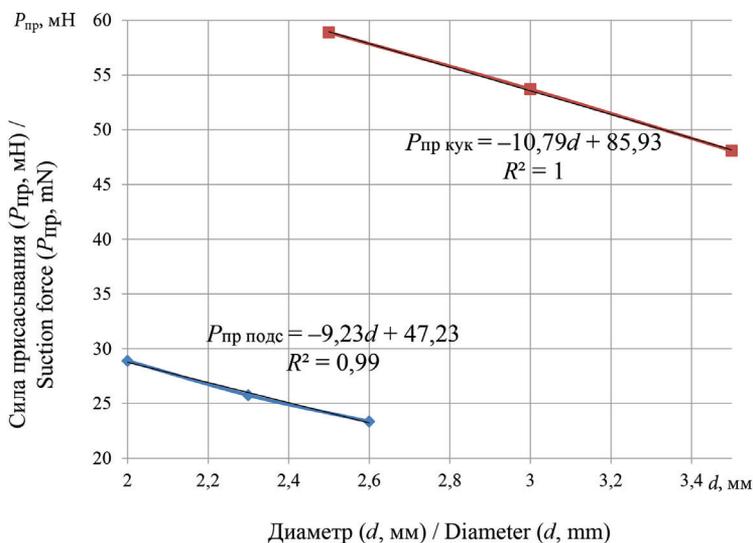
Р и с. 6. Расчетные и экспериментальные зависимости частоты образования нулевых (а) и двойных (б) подач семян кукурузы от разрежения в вакуумной камере при различных значениях диаметров присасывающих отверстий

Fig. 6. Calculated and experimental frequency dependences formation of zero (a) and double (b) feeds of corn seeds from the pressure drop in the vacuum chamber at various values of suction holes diameters

Совместный анализ данных рисунков 3–6 и зависимостей (1–4) позволяет предположить, что вероятность образования нулевых подач пропорциональна величине силы присасывания. Так, при высеве подсолнечника примерно одинаковая частота нулевых подач (около 0,05 %) обеспечивалась при примерном значении присасывающей силы $P_{пр} = 30 \pm 2$ мН, при высеве кукурузы независимо от диаметра присасывающих отверстий – $P_{пр} = 52 \pm 4$ мН.

Вероятность образования двойных подач определяется не только значением силы присасывания. В опытах, при высеве обеих рассматриваемых культур,

при уменьшении размеров круглых дозирующих элементов для образования двойных подач (анализировались уровни частоты двойных подач $p_2 \approx 0,15$ для подсолнечника и $p_2 \approx 0,10$ для кукурузы) требовалось большее значение силы присасывания (рис. 7)



Р и с. 7. Зависимости влияния диаметра присасывающих отверстий на величину «необходимой» силы присасывания при высеве подсолнечника (при $p_2 \approx 0,10$) и кукурузы (при $p_2 \approx 0,15$)

Fig. 7. Dependencies of the influence of diameter suction holes on the magnitude of “necessary” suction force when sowing sunflower (at $p_2 \approx 0.10$) and corn (at $p_2 \approx 0.15$)

Причем из данных рисунка 7 видно, что интенсивность изменения «необходимой» силы присасывания в обоих случаях составляет примерно около 10 мН/мм, что позволяет охарактеризовать изменение диаметра присасывающих отверстий как достаточно перспективный способ борьбы с двойными подачами семян.

Обсуждение и заключение. Проведенное исследование позволило установить, что зависимости изменения частоты нулевых подач от разрежения в вакуумной камере аппарата с гладким высевающим диском (типа МС-8) носят квадратичный характер, а зависимости изменения частоты двойных подач с высокой точностью (более 96 %) могут быть описаны линейными уравнениями. При этом были получены частные зависимости частот нулевых и двойных подач семян для подсолнечника и кукурузы от двух факторов, определяющих силу присасывания – диаметра присасывающих отверстий (d , мм) и разрежения (H , кПа):

$$p_{0\text{подс}} = (0,53H^2 - 11,29H + 60,57) / d^6;$$

$$p_{2\text{подс}} = 0,01 (0,24d^3H - 1,51d) 10^{-2};$$

$$p_{0\text{куку}} = (2,76H^2 - 63,05H + 364,04) / d^6;$$

$$p_{2\text{куку}} = (0,074d^3H - 1,7d) 10^{-2}.$$

Проверка сходимости полученных результатов, проведенная с использованием критерия Пирсона, показала, что данные, сформированные расчетным путем, соответствуют экспериментальным с достоверностью 80–99 %. Совместный анализ экспериментальных и расчетных зависимостей позволяет предположить, что вероятность образования нулевых подач пропорциональна величине силы присасывания. Так, при высеве подсолнечника примерно одинаковая частота нулевых подач (около 0,05 %) обеспечивалась при примерном значении присасывающей силы 30 ± 2 мН, а при высеве кукурузы независимо от диаметра присасывающих отверстий – 52 ± 4 мН. В то же время вероятность образования двойных подач не определяется только значением силы присасывания, в опытах при уменьшении размеров присасывающих отверстий для образования групповых подач «требовалось» увеличение силы присасывания. Причем интенсивность изменения «необходимой» силы присасывания в обоих случаях составляет примерно около 10 мН/мм, что позволяет охарактеризовать изменение диаметра присасывающих отверстий как достаточно перспективный способ борьбы с двойными подачами семян. Полученные количественные оценки носят, несомненно, частный характер. Они характерны для семян конкретных сортов (гибридов) культур, использованных в эксперименте, и для семян с другими физико-механическими свойствами будут, скорее всего, другими.

Тем не менее проведенное исследование позволяет сделать ряд обобщающих выводов, характеризующих работу аппарата с гладким вертикально расположенным высевающим диском: зависимости изменения частоты нулевых подач от разрежения в вакуумной камере носят квадратичный характер; зависимости изменения частоты двойных подач от разрежения в вакуумной камере носят линейный характер; вероятность образования нулевых подач пропорциональна величине силы присасывания, формируемой в рабочей плоскости дозирующего элемента независимо от его площади; вероятность образования двойных подач зависит от силы присасывания, но при меньших размерах присасывающих отверстий групповые подачи могут формироваться только при росте значений силы присасывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Evaluation of Technical Characteristics and Agrotechnical Performance Indicators of Seeders of Various Assembling / A. Nesmiyan [et al.] // XIV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2021”. 2022. Vol. 246. P. 88–101. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_10
2. Анализ конструкций пропашных сеялок / В. И. Хижняк [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. 2020. № 4 (52). С. 42–52. URL: <https://clck.ru/3CgXo8> (дата обращения: 25.02.2024).
3. Основные направления совершенствования сеялок точного высева пропашных культур / А. А. Завражнов [и др.] // Вестник НГИЭИ. 2022. № 1 (128). С. 7–21. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-1-7-21>
4. Киреев И. М., Коваль З. М., Зимин Ф. А. Распределение семян подсолнечника в рядок в зависимости от скоростных режимов работы пневматического высевающего аппарата // Техника и оборудование для села. 2021. № 8 (290). С. 14–17. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-8-14-17>
5. Kryuchin N. P., Gorbachev A. P. Improvement of the Technological Process of Sowing Sunflower Seeds with a Pneumatic Seed Planter // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 845. Article no. 012136. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012136>



6. Операция посева – ключевой элемент создания технологий растениеводства шестого технологического уклада / П. В. Лаврухин [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 4 (56). С. 24–32. URL: <https://clck.ru/3Внепо> (дата обращения: 25.02.2024).
7. Результаты исследований агротехнических показателей селекционной сеялки «Деметра» / В. И. Пахомов [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 90–109. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.090-109>
8. Геометрия посева пропашных культур / А. А. Завражнов [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 1. С. 59–66. <https://doi.org/10.31857/S2500262722010100>.
9. Sunflower Crop and Climate Change: Vulnerability, Adaptation, and Mitigation Potential from Case-Studies in Europe / P. Debaeke [et al.] // OCL. 2017. Vol. 24, Issue 1. P. 1–15. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016052>
10. Potential of Corn Silage Production in Different Sowing Times in the Paraná Midwest Region / M. Neumann [et al.] // Applied Research & Agrotechnology. 2016. Vol. 9, Issue 1. P. 37–44. <https://doi.org/10.5935/PAET.V9.N1.04>
11. Markova N. V. Influence of Sowing Terms and Technological Features of Cultivation on the Formation of Yield and Seed Quality of Hybrids of Sunflower // Herald of Agrarian Science of Black Sea Region. Mykolayv. 2010. Issue 2 (53). P. 212–218. <https://doi.org/10.9790/2380-0909015964>
12. Optimization of Sowing Time for Grain Sorghum and Millet / A. V. Baranovsky [et al.] // Bioscience Research. 2020. Vol. 17, Issue 2. P. 1121–1128. URL: [https://www.isisn.org/BR17\(2\)2020/1121-1128-17\(2\)2020BR20-97.pdf](https://www.isisn.org/BR17(2)2020/1121-1128-17(2)2020BR20-97.pdf) (дата обращения: 25.02.2024).
13. Effects of Cropping Architect and Sowing Date on Forage Quantity and Quality of Corn (Zea Maize L.) as a Second Crop in Western Iran / A. Shirkhani [et al.] // Annals of Biological Research. 2012. Vol. 3, Issue 9. P. 4307–4312. URL: <https://clck.ru/3Bnfzw> (дата обращения: 25.02.2024).
14. Пневматический высевальной аппарат : патент 207950 А01С 7/04 Российская Федерация / А. А. Завражнов [и др.]. № 2021124211 ; заявл. 16.08.2021 ; опубл. 25.11.2021. URL: https://new.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=RUPMAP&DocNumber=2021124211&TypeFile=html (дата обращения: 25.02.2024).
15. Должикова Н. Н., Должиков В. В. Качественный посев семян подсолнечника // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 2. С. 86–88. <https://doi.org/10.18411/lj-07-2020-42>
16. Дубина К. П. Оптимизация подачи семян кукурузы дозирующими элементами переменного сечения // Аграрный научный журнал. 2019. № 2. С. 86–91. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i2pp86-91>
17. Design and Study of Seeding Devices for Small Selection Seeding Machines / V. Nemtinov [et al.] // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 126. Article no. 00008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600008>
18. Theoretical Studies of Movement of Loose Material in a Dosing Device / Yu. M. Isaev [et al.] // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Т. 9, № 5. С. 834–840. EDN: XPNHWH
19. Крючин Н. П., Котов Д. Н., Артамонова О. А. Теоретическое исследование процесса перемещения замоченных семян рабочими органами торсионно-штифтового высевального аппарата // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (82). С. 148–152. EDN: JIBNQA
20. Evaluation of the Efficiency of Row-Crop Seeders using Vacuum and Extrabaric Seed Metering Methods / Khizhnyak V. I. [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 659. Article no. 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012045>
21. Разработка дозирующего модуля сеялки пунктирного высева СПВ-870 / В. И. Хижняк [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. 2020. № 2 (50). С. 27–33. EDN: NDTIQJ
22. Markvo I., Zubrilina E., Novikov V. Precise Seeding Planter Concept with Air Pumped Seedtube // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 126. Article no. 00054. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600054>
23. Теоретическое исследование процесса дозирования семян с использованием нагнетающего воздушного потока / В. И. Хижняк [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 4 (56). С. 46–59. URL: <https://clck.ru/3ChJQ3> (дата обращения: 25.02.2024).
24. Киреев И. М., Коваль З. М., Зимин Ф. А. Обеспечение режимов работы высевального аппарата специализированным оборудованием // Тракторы и сельхозмашины. 2021. Т. 88, № 4. С. 6–12. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-4-6-12>

25. Киреев И. М., Коваль З. М., Зимин Ф. А. Новые метод и средство контроля качества работы пневматических высевальных аппаратов точного высева семян // *Техника и оборудование для села*. 2020. № 1 (271). С. 24–27. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-1-24-27>
26. Модернизация системы контроля высева семян на пропашных сеялках / А. И. Завражнов [и др.] // *Сельский механизатор*. 2021. № 7. С. 8–9. URL: <http://selmech.msk.ru/721.html> (дата обращения: 25.02.2024).
27. Попов А. Ю. Моделирование квадратно-гнездового посева // *Инженерные технологии и системы*. 2020. Т. 30, № 4. С. 524–549. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202004.524-549>
28. Maize Production Technologies in India / С. М. Parihar [et al.] // *DMR Technical Bulletin*. Directorate of Maize Research, Pusa Campus, New Delhi-110012. 2011. URL: <https://iimr.icar.gov.in/wp-content/uploads/2020/03/Maize-production-technologies-03012017.pdf> (дата обращения: 25.02.2024)
29. Orjuela S., Pabon J., Fonseca M. Experimental Assessment of Emissions in Low Displacement Diesel Engines Operating with Biodiesel Blends of Palm and Sunflower Oil // *International Journal on Engineering Applications*. 2021. Vol. 9, Issue 3. P. 128–136. URL: <https://doi.org/10.15866/irea.v9i3.19810>
30. Corn (Zea Mais L.) Sowing Quality in the Province of Corrientes, Argentina / О. R. Pozzolo [et al.] // *Rev. FCA UNCUY*. 2020. Vol. 52, Issue 2. P. 111–123. URL: <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCa/article/view/4042> (дата обращения: 25.02.2024).
31. Substantiation of Seed Disc Construction for Sowing Seeds / I. N. Krasnov [et al.] // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9, Issue 3. P. 985–996. URL: <https://clck.ru/3CjFT9> (дата обращения: 25.02.2024).
32. Vacuum Planter’s Seed Supply Quality as Affected by the Diameter of Suction Holes / A. Nesmiyan [et al.] // *International Review of Automatic Control*. 2022. Vol. 15, No. 2. С. 52–57. <https://doi.org/10.15866/ireaco.v15i2.21493>
33. Probabilistic Modeling for Dynamic Processes / A. Nesmiyan [et al.] // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 175. Article no. 05019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017505019>
34. Стенд для испытания высевальных аппаратов сеялок точного высева : патент 2356210 С1 Российская Федерация / Лобачевский П. Я. [и др.]. № 2007143012/12 ; заявл. 20.11.2007 ; опубл. 27.05.2009. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2356210C1_20090527 (дата обращения: 25.02.2024).
35. Несмиян А. Ю., Дубина К. П., Жигайлова А. П. Влияние диаметра присасывающих отверстий аппарата точного высева на характеристики подачи семян кукурузы и подсолнечника // *Инженерные технологии и системы*. 2023. Т. 33, № 1. С. 21–36. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.021-036>

REFERENCES

1. Nesmiyan A., Ivanov P., Kravchenko L., Arzhenovskiy A., Globin A. Evaluation of Technical Characteristics and Agrotechnical Performance Indicators of Seeders of Various Assembling. *XIV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2021”*. 2022;246:88–19. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_10
2. Khizhnyak V.I., Maltsev P.S., Taranov V.A., Onishchenko E.A., Kaimakova A.S., Khronyuk V.B., et al. Analysis of the Construction of Massed Seed Drills. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2020;4(52):42–52. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3CgXo8> (accessed 25.02.2024).
3. Zavrazhnov A.A., Zavrazhnov A.I., Shepelev V.Yu., Yakushev A.V. The Main Directions of Improvement of Precision Seeders of Row Crops. *Bulletin NGIEI*. 2022;1(128):7–21. (In Russ, abstract in Eng.) <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-1-7-21>
4. Kireev I.M., Koval Z.M., Zimin F.A. Distribution of Sunflower Seeds in a Row Depending on the Speed Modes of Operation of the Pneumatic Dropping Device. *Machinery and Equipment for the Village*. 2021;8(290):14–17. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-8-14-17>
5. Kryuchin N.P., Gorbachev A.P. Improvement of the Technological Process of Sowing Sunflower Seeds with a Pneumatic Seed Planter. *IOP Conference Series: Earth and Environmental-mental Science*. 2021;845:012136. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012136>



6. Lavrukhin P.V., Kasakova A.S., Medvedko S.N., Ivanov P.A. Seeding Operation – a Key Element of Creation of Crop Technologies of the Sixth Technological Paradigm. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2021;4(56):24–32. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3Bnepo> (accessed 25.02.2024).
7. Pakhomov V.I., Kambulov S.I., Bozhko I.V., Parkhomenko G.G. The Results of Studying Agronomic Indicators of the Demetra Selection Seeder. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(1):90–109. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.090-109>
8. Zavrazhnov A.A., Zavrazhnov A.I., Zemlyanoi A.A., Lantsev V.Yu., Akishin D.V., Ibraev A.S., et al. Geometry of Sowing Around Crops. *Russian Agricultural Science*. 2022;1:59–66. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.31857/S2500262722010100>
9. Debaeke P., Casadebaig P., Flenet F., Langlade N. Sunflower Crop and Climate Change: Vulnerability, Adaptation, and Mitigation Potential from Case-Studies in Europe. *OCL*. 2017;24(1):1–15. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016052>
10. Neumann M., Horts E.H., Figueira D.N., Leão G.F.M., Cecchin D. Potential of Corn Silage Production in Different Sowing Times in the Paraná Midwest Region. *Applied Research & Agrotechnology*. 2016;9(1):37–44. <https://doi.org/10.5935/PAET.V9.N1.04>
11. Markova N.V. Influence of Sowing Terms and Technological Features of Cultivation on the Formation of Yield and Seed Quality of Hybrids of Sunflower. *Herald of Agrarian Science of Black Sea Region. Mykolayv*. 2010;2(53):212–218. <https://doi.org/10.9790/2380-0909015964>
12. Baranovsky A.V., Sadovoy A.S., Kapustin S.I., Kapustin A.S. Optimization of Sowing Time for Grain Sorghum and Millet. *Bioscience Research*. 2020;17(2):1121–1128. Available at: [https://www.isisn.org/BR17\(2\)2020/1121-1128-17\(2\)2020BR20-97.pdf](https://www.isisn.org/BR17(2)2020/1121-1128-17(2)2020BR20-97.pdf) (accessed 25.02.2024).
13. Shirkhani A., Ahmadi G.H., Mohammadi G., Ghitouli M. Effects of Cropping Architect and Sowing Date on Forage Quantity and Quality of Corn (*Zea Maize L.*) as a Second Crop in Western Iran. *Annals of Biological Research*. 2012;3(9):4307–4312. Available at: <https://clck.ru/3Bnfwz> (accessed 25.02.2024).
14. Zavrazhnov A.A., Zavrazhnov A.I., Brosalin V.G., Lantsev V.Yu., Zemlyanoi A.A. [Pneumatic Seeding Machine]. Patent 207950 A01C 7/04 Russian Federation. 2021 November 25. (In Russ.) Available at: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPMAP&DocNumber=2021124211&TypeFile=html (accessed 25.02.2024).
15. Dolzhikova N.N., Dolzhikov V.V. [High-Quality Sowing of Sunflower Seeds. Trends in the Development of Science and Education]. 2020;2;86–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.18411/lj-07-2020-42>
16. Dubina K.P. Optimization of Supply of Corn Seeds Accurate Accelerating Variable Section. *Agrarian Scientific Journal*. 2019;2:86–91. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i2pp86-91>
17. Nemtinov V., Kryuchin N.P., Kryuchin A.N., Nemtinova Y. Design and Study of Seeding Devices for Small Selection Seeding Machines. *E3S Web of Conferences*. 2019;126:00008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600008>
18. Isaev Yu.M., Kryuchin N.P., Semashkin N.M., Kryuchin A.N. Theoretical Studies of Movement of Loose Material in a Dosing Device. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018;9(5):834–840. EDN: XPNHWH
19. Kryuchin N.P., Kotov D.N., Artamonova O.A. Theoretical Study of the Process of Soaked Seeds Transference by the Working Bodies of the Torsion-Pin Sowing Unit. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020;2(82):148–152. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: JIBNQA
20. Khizhnyak V.I., Shchirov V.V., Nesmiyan A.Y., Avramenko F.V., Kochergin A.S. Evaluation of the Efficiency of Row-Crop Seeds using Vacuum and Extrabaric Seed Metering Methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;659:012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012045>
21. Khizhnyak V.I., Kochergin A.S., Taranov V.A., Onishchenko E.A. Development of Dosing Module of Space Seeding Machine SSM-870. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2020;2(50):27–33. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: NDTIQJ
22. Markvo I., Zubrilina E., Novikov V. Precise Seeding Planter Concept with Air Pumped Seedtube. *E3S Web of Conferences*. 2019;126:00054. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600054>
23. Khizhnyak V.I., Maltsev P.S., Nesmian A.Yu., Kormiltsev Yu.G., Khizhnyak D.V. Theoretical Research Of The Process Of Dosing Seeds Using An Injection Air Flow. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2021;4(56):46–54. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3ChJQ3> (accessed 25.02.2024).

24. Kireev I.M., Koval Z.M., Zimin F.A. Ensuring the Operating Modes of the Seeding apparatus Specialized Equipment. *Tractors and Agricultural Machines*. 2021;88(4):6–12. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-4-6-12>
25. Kireev I.M., Koval Z.M., Zimin F.A. New Method and Means of Monitoring the Quality of Pneumatic Drilling Mechanism for Precision Seed Sowing. *Machinery and Equipment for the Village*. 2020;1(271):24–27. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-1-24-27>
26. Zavrazhnov A.I., Balashov A.V., Pustovarov N.Yu., Krishchenko A.V. Modernization of the Seed Sowing Control System on Rowed Seeders. *Selskiy Mechanizator*. 2021;7:8–9. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <http://selmech.msk.ru/721.html> (accessed 25.02.2024).
27. Popov A.Yu. Simulation of Square Cluster Planting. *Engineering Technologies and Systems*. 2020;30(4):524–549. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202004.524-549>
28. Parihar C.M., Jat S.L., Singh A.K., Kumar R.S., Hooda K.S., Chikkappa G.K., Singh D.K. Maize Production Technologies in India. *DMR Technical Bulletin. Directorate of Maize Research, Pusa Campus, New Delhi-110012*. 2011. Available at: <https://imr.icar.gov.in/wp-content/uploads/2020/03/Maize-production-technologies-03012017.pdf> (accessed 25.02.2024).
29. Orjuela S., Pabon J., Fonseca M. Experimental Assessment of Emissions in Low Displacement Diesel Engines Operating with Biodiesel Blends of Palm and Sunflower Oil. *International Journal on Engineering Applications*. 2021;9(3):128–136. <https://doi.org/10.15866/irea.v9i3.19810>
30. Pozzolo O.R., Hidalgo R.J., Dominguez J.F., Giménez L. Corn (*Zea Mais L.*) Sowing Quality in the Province of Corrientes, Argentina. *Rev. FCA UNCUY*. 2020;52(2):111–123. Available at: <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCFA/article/view/4042> (accessed 25.02.2024).
31. Krasnov I.N., Kravchenko I.A., Kapov S.N., Shmatko G.G., Gerasimov E.V. Substantiation of Seed Discovery for Sowing Seeds. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018;9(3):985–996. Available at: <https://clck.ru/3CjFT9> (accessed 25.02.2024).
32. Nesmiyan A., Khasanov E., Dubina K., Iakupov A. Vacuum Planter's Seed Supply Quality as Affected by the Diameter of Suction Holes. *International Review of Automatic Control*. 2022;15(2):52–57. <https://doi.org/10.15866/ireaco.v15i2.21493>
33. Nesmiyan A., Kravchenko L., Khizhnyak V., Zubrilina E. Probabilistic Modeling for Dynamic Processes. *E3S Web of Conferences*. 2020;175:05019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017505019>
34. Lobachevsky P. Ya., Khizhnyak V.I., Nesmian A.Yu., Avramenko F.V. [A Stand for Testing Seeding Machines for Precision Seeding Drills]. Patent 2356210 C1 Russian Federation. 2009 May 5. (In Russ.) Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2356210C1_20090527 (accessed 25.02.2024).
35. Nesmian A.Yu., Dubina K.P., Zhigailova A.P. Influence of Suction Hole Diameter of Precision Seed Machine on the Characteristics of Feeding Corn and Sunflower Seeds. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(1):21–36. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.021-036>

Об авторах:

Несмиян Андрей Юрьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий и средств механизации агропромышленного комплекса Азово-Черноморского инженерного института Донского ГАУ (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5556-1767>, Researcher ID: N-6221-2018, nesmiyan.andrei@yandex.ru

Дубина Константин Павлович, кандидат технических наук, ассистент кафедры технической механики и физики Азово-Черноморского инженерного института Донского ГАУ (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0543-9306>, Researcher ID: GSD-2794-2022, longonog@yandex.ru

Бутенко Александр Федорович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технической механики и физики Азово-Черноморского инженерного института Донского ГАУ (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9530-3001>, butenko.1977@mail.ru

Жигайлова Анастасия Павловна, аспирантка Азово-Черноморского инженерного института Донского ГАУ (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0904-0933>, Researcher ID: [GWQ-5701-2022](https://orcid.org/0000-0003-0904-0933), nastena30.1997@mail.ru

Войнаш Сергей Александрович, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальная мобильность» Казанского федерального университета (420008, Российская Федерация, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-9883>, Researcher ID: [AAK-2987-2020](https://orcid.org/0000-0001-5239-9883), Scopus ID: [57194339935](https://orcid.org/0000-0001-5239-9883), sergey_voi@mail.ru

Ореховская Александра Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальная мобильность» Казанского федерального университета (420008, Российская Федерация, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8149-7191>, Researcher ID: [AAO-7956-2021](https://orcid.org/0000-0001-8149-7191), Scopus ID: [57211231389](https://orcid.org/0000-0001-8149-7191), orehovskaja_aa@bsaa.edu.ru

Заявленный вклад авторов:

А. Ю. Несмиян – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, постановка задачи исследования, доработка текста, формирование частных и общих выводов.

К. П. Дубина – анализ литературных источников, проведение экспериментальных исследований, критический анализ полученных результатов, подготовка первоначального варианта текста, формирование частных и общих выводов.

А. Ф. Бутенко – литературный и патентный анализ данных, проведение экспериментальных исследований, формирование частных и общих выводов.

А. П. Жигайлова – литературный и патентный анализ данных, проведение экспериментальных исследований, формирование частных и общих выводов. С. А. Войнаш – разработка теоретических предпосылок, участие в разработке методики опытов, обработка и анализ данных, формирование частных и общих выводов.

А. А. Ореховская – разработка теоретических предпосылок, участие в разработке методики опытов, обработка и анализ данных, визуализация материалов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

*Поступила в редакцию 20.03.2024; поступила после рецензирования 17.05.2024;
принята к публикации 24.05.2024*

About the authors:

Andrey Yu. Nesmiyan, Dr.Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Technologies and Means of Mechanization of the Agroindustrial Complex, Azov-Black Sea Engineering Institute, Don State Agrarian University (21 Lenin St., Zernograd 347740, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5556-1767>, Researcher ID: [N-6221-2018](https://orcid.org/0000-0002-5556-1767), nesmiyan.andrei@yandex.ru

Konstantin P. Dubina, Cand.Sci. (Eng.), Assistant of the Department of Theoretical Mechanics and Physics, Azov-Black Sea Engineering Institute, Don State Agrarian University (21 Lenin St., Zernograd 347740, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0543-9306>, Researcher ID: [GSD-2794-2022](https://orcid.org/0000-0003-0543-9306), longonor@yandex.ru

Alexandr F. Butenko, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics and Physics, Azov-Black Sea Engineering Institute, Don State Agrarian University (21 Lenin St., Zernograd 347740, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9530-3001>, butenko.1977@mail.ru

Anastasia P. Zhigailova, Postgraduate Student of the Azov-Black Sea Engineering Institute, Don State Agrarian University (21 Lenin St., Zernograd 347740, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0904-0933>, Researcher ID: [GWQ-5701-2022](https://orcid.org/0000-0003-0904-0933), nastena30.1997@mail.ru

Sergey A. Voinash, Junior Researcher at the Research Laboratory “Intelligent Mobility”, Kazan Federal University (18 Kremlin St., Kazan 420008, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-9883>, Researcher ID: [AAK-2987-2020](https://orcid.org/0000-0001-5239-9883), Scopus ID: [57194339935](https://orcid.org/0000-0001-5239-9883), sergey_voi@mail.ru

Alexandra A. Orekhovskaya, Cand.Sci. (Agric.), Leading Researcher at the Research Laboratory “Intellectual Mobility”, Institute of Design and Spatial Arts (18 Kremlin St., Kazan 420008, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8149-7191>, Researcher ID: [AAO-7956-2021](https://orcid.org/0000-0001-8149-7191), Scopus ID: [57211231389](https://orcid.org/0000-0001-8149-7191), orehovskaja_aa@bsaa.edu.ru

Authors contribution:

A. Y. Nesmiyan – scientific guidance, formulation of the basic concept of the research, formulation of the research task, revision of the text, formation of particular and general conclusions.

K. P. Dubina – analyzing literary sources, conducting experimental research, critical analysis of the results obtained, preparation of the initial version of the text, formation of particular and general conclusions.

A. F. Butenko – literary and patent analysis of the data, conducting experimental studies, forming particular and general conclusions.

A. P. Zhigailova – literary and patent data analysis, conducting experimental research, forming private and general conclusions.

S. A. Voinash – development of theoretical prerequisites, participation in the development of experimental methods, data processing and analysis, formation of private and general conclusions.

A. A. Orekhovskaya – development of theoretical prerequisites, participation in the development methods of experiments, data processing and analysis, visualization of materials.

All authors have read and approved the final manuscript.

Submitted 20.03.2024; revised 17.05.2024; accepted 24.05.2024