

modeling approaches and applications. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1187573. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1187573>.

4. Liu, Y., Li, D., Qian, J., et al. (2021). Electrical impedance spectroscopy (EIS) in plant roots research: a review. *Plant Methods*, 17(1), 118. <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00817-3>.

5. Borger C. P. D., Slaven M. J. (2025). Electric weed control - how does it compare to conventional weed control methods? *Weed Science*. 73. 1-12. DOI: 10.1017/wsc.2024.45.

6 Melkonyan A. A. Analysis and modeling of equivalent schemes of biological tissue. *European Science Review*. 2019. No. 4–1 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analysis-and-modeling-of-equivalent-schemes-of-biological-tissue>.

7. Ibba, P., Crepaldi, M., Cantarella, G., et al. (2021). Design and Validation of a Portable AD5933–Based Impedance Analyzer for Smart Ag-

riculture. *IEEE Access*. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3074269.

8. Pliquett, U., Barthel, A. (2012). Interfacing the AD5933 for bio-impedance measurements with front ends providing galvanostatic or potentiostatic excitation. *Journal of Physics Conference Series*. 407. 012019. DOI: 10.1088/1742-6596/407/1/012019.

9. Uglovskiy A. S. Eksperimentalnoe issledovanie i modelirovanie izmeneniya impedansa biologicheskikh obektov na primere sornykh rasteniy pri vozdeystvii vysokovoltnykh impulsov // *Vestnik APK Verkhnevolzhya*. 2025. No. 4 (72). S. 160-166. DOI: 10.35694/YARCX.2025.72.4.023.

10. Malikov V. N., Shmykova P. A., Fadeev D. A. Izuchenie dispersii impedansa biologicheskikh tkaney // *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2023. Vyp. 8. S. 245-249. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-8-245-249.



УДК 631.82.633.11

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-260-6-98-103

Д.П. Гребенюк, Н.Н. Назаров, Н.И. Стрикунов

D.P. Grebenyuk, N.N. Nazarov, N.I. Strikunov

## К ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА ПРОФИЛЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ЛАПОВОГО СОШНИКА СТЕРНЕВОЙ СЕЯЛКИ

### SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF WORKING SURFACE PROFILE OF DISTRIBUTOR OF TINE COULTER OF STUBBLE SEEDER

**Ключевые слова:** семенной материал, физико-механические свойства, катушечный высевальный аппарат, лаповый сошник, распределитель семян.

Совершенствование технологии посева зерновых культур по стерне с применением лапового сошника в настоящее время является актуальной задачей. Для разбросного посева под лапой закрепляется конусный распределитель семян. В стерневых сеялках с гравитационным высевом и посевных комплексах с пневмотранспортированием семян применяют в основном распределители с прямой плоскостью рабочей поверхности или выполненной по дуге окружности. Проведенные многочисленные исследования этих устройств показывают, что оба типа распределителей удовлетворяют агротехническим требованиям по равномерности распределения семян в подсошниковом пространстве. Однако реализовать технологию посева с внесением гранулированных удобрений с одновременным внесением жидких ком-

плексных удобрений (ЖКУ) ниже уровня семян не представляется возможным. Предложена новая конструкция распределителя, рабочая поверхность которого выполнена по кривой наискорейшего спуска с отражателем. Это устройство позволяет размещать семена в подсошниковом пространстве двумя полосами, а в промежутке между этими полосами вносить ЖКУ ниже уровня семян. Такая технология внесения ЖКУ позволяет избежать химического ожога семян при посеве. Нами проведены экспериментальные исследования по обоснованию выбора рабочей поверхности распределителя на специальной лабораторной установке с использованием киносъёмки. Определены основные характеристики движения семян различных зерновых культур, отличающихся физико-механическими свойствами, формой и состоянием поверхности. Установлен характер распределения семян разработанным устройством при движении по распределителю единичных частиц и сплошным потоком при различных значениях нормы

высева. Определена зависимость дальности полета частиц от высоты их падения. Анализ полученных результатов показывает, что новый распределитель может применяться на стерневых сеялках с гравитационным высевом.

**Keywords:** *seed material, physico-mechanical properties, reel seeding unit, tine coulter, seed dispenser.*

Improving the technology of cereal crop sowing into stubble using a tine coulter is a topical issue. For broadcasting sowing, a cone seed dispenser is fixed under the tine. In stubble seeders with gravity seeding and sowing units with pneumatic seed transportation, distributors with a straight plane of the working surface or a circular arc are mainly used. Numerous studies of these devices have shown that both types of dispensers meet the agrotechnical requirements for the uniformity of seed distribution in the space below coulters. However, it is not possible to implement the technology of sowing with the application of granular fertilizers with the simultane-

ous application of liquid compound fertilizers below the seed level. A new distributor design is proposed; its working surface is made along the curve of the steepest descent with a reflector. This device allows placing seeds in the space below coulters in two strips, and in the gap between these strips, applying liquid compound fertilizers below the seed level. This technology of applying liquid compound fertilizers allows avoiding chemical burns of seeds at sowing. Experimental studies to substantiate the choice of the distributor working surface on a special laboratory installation using camera recording were conducted. The main movement patterns of seeds of various cereal crops differing in physical and mechanical properties, shape and surface condition were determined. The patterns of the seed distribution were determined by the developed device when moving along the distributor of single particles and in a continuous flow at different seeding rates. The dependence of the range of the particles on the height of their fall was determined. The analysis of the findings shows that the new distributor may be used on stubble seeders with gravity seeding.

**Гребенюк Данил Петрович**, аспирант, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: danil.grebenyuk@mail.ru.

**Назаров Николай Николаевич**, д.т.н., гл. науч. сотр., Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru.

**Стрикунов Николай Иванович**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: strikunov555@mail.ru.

**Grebenyuk Danil Petrovich**, post-graduate student, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: danil.grebenyuk@mail.ru.

**Nazarov Nikolay Nikolaevich**, Dr. Tech. Sci., Chief Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru.

**Strikunov Nikolay Ivanovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: strikunov555@mail.ru.

## Введение

Комбинированные посевные агрегаты выполняют полосовой и разбросной посев зерновых культур одновременно с культивацией почвы. Разбрасывание происходит в подлаповое пространство. В сравнении со строчным посевом происходит улучшение индивидуальной площади питания растений. Можно сделать предположение, что чем равномернее распределяются семена каждой полосы посева (это может делать исследуемый распределитель) в подлаповом пространстве по ширине, тем в большей степени проявится эффект такого способа. Известно, что основным фактором, влияющим на равномерность распределения семян в подсошниковом пространстве, является конструкция распределителя [1-4]. Ставится задача – дать объективную оценку полученных теоре-

тических предпосылок по обоснованию конструктивно-кинематических параметров распределителя, поверхность которого представляет собой кривую наискорейшего спуска.

Сложность протекания процесса, происходящего в распределительном устройстве, и его быстротечность слабо поддаются визуальному наблюдению, в силу целого ряда причин. Одной из основных причин является то, что распределительное устройство заключено в подлаповом пространстве. В связи этим в реальных условиях очень сложно провести исследования по установлению основных закономерностей процесса движения семян по поверхности распределителя. Применение киносъёмки позволило с достаточной достоверностью изучить этот процесс. Для подтверждения полученных результатов теоретических исследований и установления

основных закономерностей работы распределителя были проведены экспериментальные исследования.

**Цель** исследования – обоснование параметров распределительного устройства лапового сошника стерневой сеялки.

**Задачи** исследования:

1) разработать экспериментальную установку для исследований распределителя, поверхность которого выполнена по кривой наискорейшего спуска;

2) провести лабораторные исследования по определению физико-механических свойств семян и по обоснованию основных параметров рабочего процесса распределителя.

Программа исследований включала в себя:

- разработку и создание экспериментального рабочего органа (распределителя) и установки;
- определение скорости подачи семян на распределительное устройство при гравитационном высеве;
- исследование характера движения зерна по поверхности распределителя и дальности полета семян различных сельскохозяйственных культур.

#### Объекты и методы

Объектами исследования приняты семена зерновых (пшеница, овёс, ячмень, гречиха) и бобовых культур (чечевица) [5]. Выбранные семена различались формой и состоянием поверхности, а также коэффициентами внутреннего и внешнего трения.

Приводим основные физико-механические свойства используемых в исследовании семян. Семенной материал указанных выше культур применялся уже отчищенный и отсортированный. Основные показатели приведены в таблице.

Влажность семян сохранялась постоянной весь период проведения экспериментов, изме-

рялась влагомером PFEUFFER. Объёмная масса определялась с помощью литровой пурки ПХ-1. Для определения угла внутреннего трения  $\varphi$  и коэффициента внутреннего трения  $f = \operatorname{tg} \varphi$  использовалась лабораторная установка, представляющая собой ёмкость с выдвигной торцевой стенкой и прозрачной боковой стенкой. Угол внешнего трения определялся по оцинкованному железу.

Лабораторная установка представляла собой бункер с возможностью регулирования по высоте, в нижней части которого вмонтирован катушечный высевательный аппарат. На расстоянии  $H$  закреплён к стойке лапы распределитель, а под ним размещены приёмники семян через каждые 14 мм по всей ширине захвата лапового сошника (рис. 1).

Высота  $H$ , определяющая расстояние точки выхода семян из бункера до точки касания с поверхностью распределителя, выбрана обоснованно. Такая высота соответствует истечению семян из бункера стерневых сеялок с гравитационным высевом. Это позволит оценить технологические возможности нового распределителя при посеве семян с использованием пневмотранспортирования и сеялок с гравитационным высевом [6].

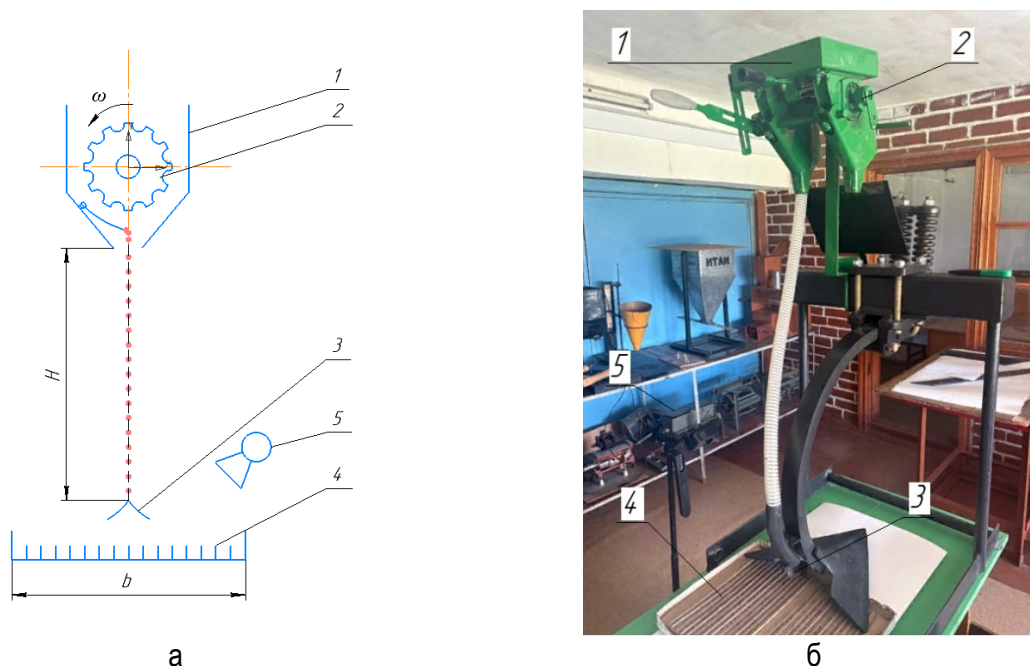
Лабораторная установка позволяла одни и те же зерна бросать на поверхность распределителя двумя способами: по одному зерну и непрерывным потоком при помощи желобковой катушки с возможностью изменения нормы высева ( $l = \frac{1}{3} l_{\max}$ ,  $l = \frac{2}{3} l_{\max}$ ,  $l = l_{\max}$ ).

В случае поступления единичных семян распределитель работал двумя рабочими поверхностями, как и при движении семян непрерывным потоком. Распределитель устанавливался по центру.

Таблица

**Физико-механические свойства семян зерновых и зернобобовых культур**

Культура	Сорт	Влажность, %	Объёмная масса, г/л	Масса 1000 семян, г	Угол естественного откоса, град.	Коэффициент внутреннего трения	Угол трения по оцинкованному железу, град.
Пшеница	Буран	12,1	802	50,30	31,6	0,615	18,5
Ячмень	Грейс	13,5	712	54,37	31,3	0,606	24,6
Овёс	Авеню	11,8	544	43,49	34,3	0,682	26,0
Гречиха	Диана	14,3	648	32,64	30,7	0,594	24,4
Чечевица	Зеленая сибирская	8,3	778	55,78	35,5	0,714	27,1



**Рис. 1. Лабораторная установка:**

**а – схема, б – общий вид;**

**1 – бункер, 2 – катушечно-высевающий аппарат, 3 – распределитель, 4 – приёмники, 5 – кинокамера**

#### Порядок проведения опытов

Порядок проведения опытов в каждом случае оставался одним и тем же и заключался в следующем.

1. На лабораторной установке подготавливались условия для подачи либо единичных зёрен (отбиралось 1000 семян), либо непрерывным потоком за 1 оборот катушки. Необходимая величина выпускного отверстия бункера была определена ещё при проведении пробных опытов.

2. Подающим устройством зерновая частица определенной культуры направлялась на рабочую поверхность распределителя. С помощью киносъёмки фиксировался весь процесс перемещения зерна от момента касания поверхности распределителя до момента схода.

3. После окончания каждого опыта производились замеры полученной дальности полёта семян и подсчёт их количества в приёмниках при единичном бросании, а при подаче непрерывным потоком подсчитывалось количество семян в каждом приемнике и дальность полёта.

4. Все полученные величины заносились в журнал наблюдений, затем проводилась их обработка. В ходе экспериментальных исследований было установлено, что результаты отдельных повторностей различаются не больше, чем на 5 %. Это позволило ограничиться трёхкрат-

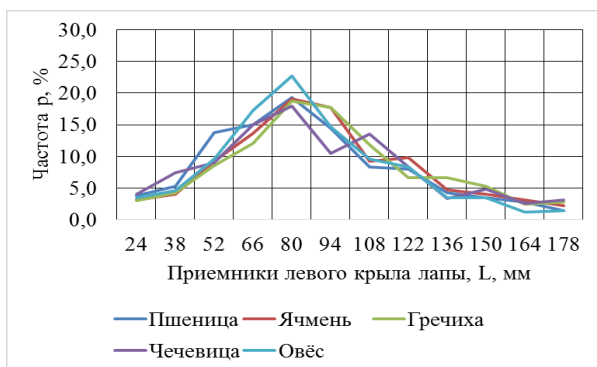
ной повторностью при исследовании подачи непрерывным потоком на каждой культуре.

#### Результаты и обсуждение

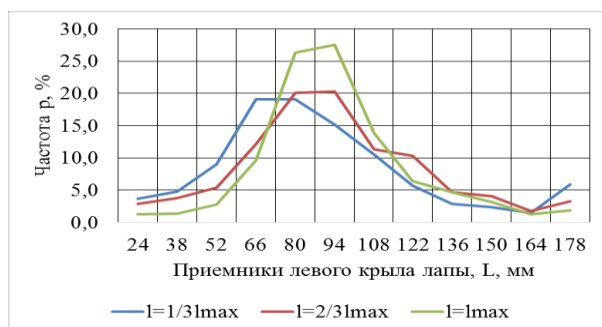
Изучение рабочей поверхности распределителя, выполненной по кривой наискорейшего спуска, проводилось с целью установления закономерностей распределения семян различных культур в подлаповом пространстве. Опыты показали, что из-за различия физико-механических свойств величина дальности полёта семян каждой культуры имела свой характерный вариационный ряд.

Проведенные многочисленные опыты показали, что вариационные ряды практически не изменяются при бросании единичных семян или непрерывным потоком, причем при различной длине рабочей части катушки, а характер вариационных кривых распределения для правого и левого крыла лапы существенно не отличаются. Это говорит о равномерности подачи семян на распределитель (рис. 2, 3).

Одновременно изучалось влияние формы и состояния поверхности зерен исследуемых культур на характер движения их по поверхности распределителя. Установлено, что семена всех культур не отражаются от рабочей поверхности, а скользят по ней. Это касается как гладких семян, так и семян в оболочке.

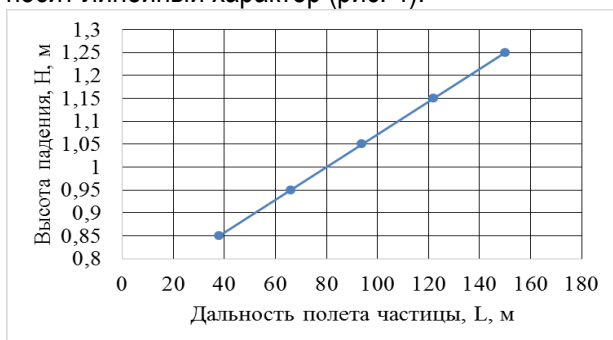


**Рис. 2. Вариационные кривые распределителя семян различных культур в подсошниковом пространстве при движении единичных частиц**



**Рис. 3. Вариационные кривые распределения семян пшеницы в подсошниковом пространстве при движении непрерывным потоком за один оборот катушки**

При изучении влияния высоты падения семян на поверхность распределителя устанавливалась также дальность полета частиц от этого параметра. Опыты на пшенице показали, что зависимость дальности полета единичных зерен носит линейный характер (рис. 4).



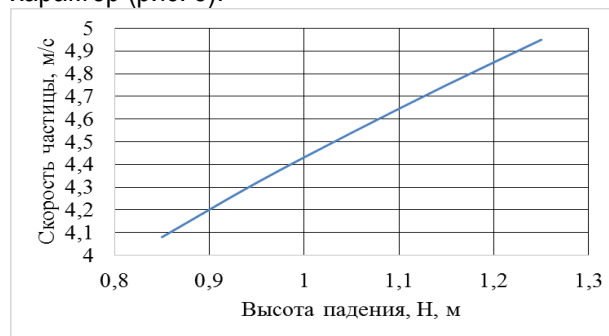
**Рис. 4. Зависимость дальности полета семян пшеницы от высоты падения, H**

Из приведенной схемы установки, где показан процесс падения семян на поверхность распределителя, можно определить скорость частицы в момент падения [7]:

$$v = \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

где H – высота падения.

Расчёты показывают, что зависимость скорости частицы от высоты падения носит линейный характер (рис. 5).



**Рис. 5. Зависимость скорости движения частицы от высоты падения**

Приведенные графические зависимости показывают, что предлагаемый распределитель пригоден для работы на сеялках с гравитационным высевом семян.

### Заключение

1. Разработаны новый распределитель семян стерневой сеялки и лабораторная установка посевной секции с конструктивными элементами посевного комплекса «Кузбасс», а также лабораторная установка по исследованию физико-механических свойств сыпучих материалов.

2. Проведены лабораторные исследования по определению физико-механических свойств зерновых и зернобобовых культур. Полученные численные значения коэффициентов внутреннего трения 0,6-0,7 и внешнего трения 0,4-0,5 могут использоваться в теоретических исследованиях по определению параметров движения семян по рабочим поверхностям распределителей. Движение частиц по кривой наискорейшего спуска поверхности распределителя происходит без отрыва от поверхности.

3. Установлено, что для зерновых культур вариационные ряды распределения семян в подсошниковом пространстве не изменяются при бросании единичных семян или непрерывным потоком с одной и той же высоты.

4. Зависимость от высоты падения единичных зерен на дальность их полета в подсошниковом пространстве носит линейный характер. Это означает, что разработанный распределитель с рабочей поверхностью, выполненной по кривой наискорейшего спуска, может работать в стерневых сеялках с гравитационным высевом семян.

**Библиографический список**

1. Окунев, Г. А. Ресурсосберегающие технологии – резерв повышения эффективности земледелия / Г. А. Окунев, Н. А. Кузнецов, С. С. Канатпаев. – Текст: непосредственный // АПК России. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 136-141.
2. Совершенствование технологического процесса посева стерневыми сеялками / С. Г. Лопарева [и др.]. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2017. – № 12. – С. 25-31.
3. Пономарева, О. А. Равномерность размещения семян по площади посева активным сошником / О. А. Пономарева. – Текст: непосредственный // Вестник Курганской ГСХА. – 2014. – № 2 (10). – С. 62-64.
4. Соколов, В. В. К вопросу об оценке разброса семян при посеве / В. В. Соколов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2002. – № 2. – С. 65-68.
5. Платонов, П. Н. Физико-механические свойства зерна как сыпучего тела / П. Н. Платонов. – Текст: непосредственный // Пищевое машиностроение. – 1959. – № 14-15.
6. Кем, А. А. Сеялка с сошниками для посева зерновых и разноуровневого внесения минеральных удобрений / А. А. Кем. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 1. – С. 16-20.
7. Заика, П. М. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств / П. М. Заика, Г. Е. Мазнев. – Москва: Колос, 1978. – 287. – Текст: непосредственный.

**References**

1. Okunev, G.A. Resursosberegayushchie tekhnologii – rezerv povysheniya effektivnosti zemledeliya / G.A. Okunev, N. A. Kuznetsov, S.S. Kanatpaev // APK Rossii. – 2017. – T. 24. – No. 1. – S. 136-141.
2. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo protsessa poseva sternevymi seyalkami / S.G. Lopareva [i dr.] // Traktory i selskokhozyaystvennye mashiny. – 2017. – No. 12. – S. 25-31.
3. Ponomareva, O.A. Ravnomernost razmeshcheniya semyan po ploshchadi poseva aktivnym soshnikom / O.A. Ponomareva // Vestnik Kurganskoy GSKhA. – 2014. – No. 2 (10). – S. 62-64.
4. Sokolov, V.V. K voprosu ob otsenke razbrosa semyan pri poseve / V.V. Sokolov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2002. – No. 2. – S. 65-68.
5. Platonov, P.N. Fiziko-mekhanicheskie svoystva zerna kak sypuchego tela / P.N. Platonov // Pishchevoe mashinostroenie. – 1959. – No. 14-15.
6. Kem, A.A. Seyalka s soshnikami dlya poseva zernovykh i raznourovneвого vneseniya mineralnykh udobreniy / A.A. Kem // Traktory i selkhoz mashiny. – 2019. – No. 1. – S. 16-20.
7. Zaika, P.M. Separatsiya semyan po kompleksu fiziko-mekhanicheskikh svoystv / P.M. Zaika, G.E. Maznev. – Moskva: Kolos, 1978. – 287 s.

