



Результаты исследований агротехнических показателей селекционной сеялки «Деметра»

В. И. Пахомов^{1, 2}, С. И. Камбулов^{1, 2}, И. В. Божко^{1*},
Г. Г. Пархоменко¹

¹ Аграрный научный центр «Донской» (г. Зерноград,
Российская Федерация)

² Донской государственный технический университет
(г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

* i.v.bozhko@mail.ru

Аннотация

Введение. Технологическая операция высева семян в селекционно-семеноводческом процессе играет одну из ведущих ролей. Ее точное выполнение является важнейшим агротехническим требованием, предъявляемым к посевным машинам для селекции и первичного семеноводства. Цель исследования – определение основных агротехнических показателей селекционной сеялки «Деметра».

Материалы и методы. В ходе исследований применялись методы натурального эксперимента в лабораторных и полевых условиях. Определялись основные агротехнические показатели технологического процесса высева семян сеялкой.

Результаты исследования. В результате исследований были определены основные агротехнические показатели сеялки: минимальная и максимальная высевая способность сеялки и фактическая норма высева семян, отклонение высева от заданной нормы, неравномерность высева семян по семяпроводам, неустойчивость общего высева семян, а также дробление семян, глубина заделки семян при оптимальном заглублении сошников, количественная доля семян, заделанных на заданную глубину, высота гребней после прохода агрегата, число всходов и относительная полевая всхожесть.

Обсуждение и заключение. Установлено, что сеялка селекционная «Деметра» с высокой точностью обеспечивает качественное выполнение технологического процесса высева семян установленной нормы как для минимальной (1,95 м), так и для максимальной (32,92 м) длины деланки. Отклонение фактического высева от заданного на культурах составляет 0,02–0,54 %. Неравномерность высева по культурам составляет 0,22–1,53 %. При этом неустойчивость общего высева по культурам варьировалась в пределах 0,1–1,1 %. Высота гребней после прохода сеялки составляет 2,6–3,0 см. Семена, не заделанные в почву рабочими органами сеялки, отсутствуют. Относительная полевая всхожесть по возделываемым культурам составляет 82,3–96,9 %.

Ключевые слова: селекционная сеялка «Деметра», технологический процесс высева семян, агротехнические показатели, агротребования, экспериментальные исследования

Финансирование: исследование выполнено в рамках госбюджетной НИР.

© Пахомов В. И., Камбулов С. И., Божко И. В., Пархоменко Г. Г., 2022



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

Благодарности: авторы выражают признательность анонимным рецензентам.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Результаты исследований агротехнических показателей селекционной сеялки «Деметра» / В. И. Пахомов [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 90–109. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.090-109>

Original article

The Results of Studying Agronomic Indicators of the Demetra Selection Seeder

V. I. Pakhomov^{a, b}, S. I. Kambulov^{a, b}, I. V. Bozhko^{a*},
G. G. Parkhomenko^a

^a Agricultural Research Center “Donskoy” (Zernograd,
Russian Federation)

^b Don State Technical University (Rostov-on-Don,
Russian Federation)

* i.v.bozhko@mail.ru

Abstract

Introduction. The technological operation of seed sowing is a main in the seed selecting and growing process. The correct execution is the most important agrotechnical requirement for seeding machinery for selecting and primary seed breeding. The purpose of the study is to determine the main agronomic indicators of the Demetra selection seeder.

Materials and Methods. In the study, the methods of a full-scale experiment in laboratory and field conditions were used. The main agro technical indicators of the technological process of sowing seeds by a seeder were determined.

Results. As a result of the study, there were determined the main agronomic indicators of the seeder such as its minimum and maximum productivity and the effective seeding rate, departure from the specified seeding rate, irregularity of seed sowing through the seed tubes, instability of total seed sowing, seed crushing, seed sowing depth at optimum coulter penetration depth, quantity of seeds embedded at the specified depth, ridge height after the aggregate passed, and number of sprouts and relative field germination rate.

Discussion and Conclusion. It has been found that the Demetra seeder with high accuracy provides qualitative performance of sowing specified number of seeds with both the minimum (1.95 m) and maximum (32.92 m) length of the plot. The departure of the actual seeding from the specified seeding is 0.02–0.54% for different crops. Unevenness of seeding is 0.22–1.53% for different crops. At the same time, the instability of total seeding varied in the range of 0.1–1.1% for different crops. The height of ridges after the seeder passed is 2.6–3.0 cm. There were no seeds not embedded in the soil by the working bodies of the seeder. Relative field germination of cultivated crops is 82.3–96.9%.

Keywords: Demetra selection seeder, technological process of sowing seeds, agronomic indicators, agricultural requirements, experimental research

Funding: The research was performed within the framework of the state budget research work.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to the anonymous reviewers.

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Pakhomov V.I., Kambulov S.I., Bozhko I.V., Parkhomenko G.G. The Results of Studying Agronomic Indicators of the Demetra Selection Seeder. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):90-109. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.090-109>

Введение

В настоящее время механизация работ в селекции и первичном семеноводстве является приоритетным направлением исследований. Это подтверждают стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, а также Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг., целью которой является обеспечение стабильного роста производства сельскохозяйственной продукции, полученной за счет применения семян новых отечественных сортов. Селекционно-семеноводческий процесс состоит из нескольких этапов. Работы выполняются на опытных делянках. В связи с этим машины группируются, а оборудование применяется на конкретных этапах проведения работ. Посевные машины при этом играют ведущую роль, так как точное выполнение технологической операции размещения семян в рядке с заданной нормой высева, а также возможность быстрой очистки рабочих органов при переходе от одного сорта к другому являются важнейшими агротехническими требованиями, предъявляемыми к машинам для селекции и первичного семеноводства.

Одним из основных требований к посевной технике в селекционных процессах является сведение к минимуму травмируемости посевного материала. Сеялки, используемые в селекционной работе, должны быть удобны в эксплуатации, а также обеспечивать высокую

производительность при большом количестве опытных делянок и партий семян. Цель исследования – определение основных агротехнических показателей селекционной сеялки «Деметра».

Обзор литературы

Селекционные сеялки обладают некоторыми особенностями конструкции, благодаря которым их используют на делянках незначительной площади¹.

Известны селекционные сеялки, разработанные за рубежом: HALDRUP, Wintersteiger, Terradonis. Отечественные образцы СТ-1, СР-1, СР-2, УСН-16П, СС-11, СН-10Ц, «Клен-1.5», ССНП-12 и ССНП-16 отличаются конструкцией высевающих аппаратов и системой посева и заделки семян [1–3].

Исследование В. С. Кравченко и коллег посвящено обзору технологий и устройств для селекционных посевов кукурузы, а также разработке конструкции высевающего аппарата [4].

В другой работе предложена авторская схема пневматического высевающего аппарата к сеялке ССНП-16 [5]. Разработана схема пневматической сеялки с центральным дозатором роторно-лопастного типа, описан технологический процесс ее работы [6]. Сконструирована дисково-ленточная схема высевающего аппарата селекционной сеялки [7]. В. П. Горобей и соавторы в своей статье приводят результаты полевых исследований навесной селекционной сеялки с приводом катушечного высевающего

¹ Буклагин Д. С. Технические средства для механизации процессов в селекции и семеноводства масличных культур // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: мат. XI Междунар. науч.-практ. интернет-конф. «Информ-Агро-2019» (5–7 июня 2019). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. С. 86–96. URL: <https://rosinformagrotech.ru/conf-2019/forum-2019/tekhnicheskie-sredstva-dlya-mekhanizatsii-protsessov-v-selektcii-i-semenovodstve-maslichnykh-kultur> (дата обращения: 20.10.2021).

аппарата мотор-редуктором на базе коллекторного двигателя с микропроцессорным блоком управления [8].

Установлено, что технический уровень отечественных посевных машин для механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве остается недостаточно высоким. В результате этого посев питомников первого этапа осуществляется ручными сеялками с низкой производительностью и малым объемом бункера [9; 10].

Применяемые в настоящее время селекционные сеялки имеют ряд недостатков конструкции, приводящих к сгуживанию почвы и измельченных растительных остатков перед рабочими органами, что приводит к ухудшению качества посева и увеличению затрат энергии. Данные недостатки устраняются с помощью дополнительной обработки почвы перед посевом или усовершенствованной конструкции рабочих органов.

Совершенствование рабочих органов посевных машин осуществляется на основании данных экспериментальных исследований. Данные содержат информацию о неустойчивости высева семян, равномерности распределения в рядке, динамике появления всходов, биологической урожайности высеваемых культур, в некоторых случаях травмируемости посевного материала [10; 11].

Установлено, что качество посева зависит от применяемого типа сошника² [12–16]. Наряду с качественной подготовкой почвы, особое внимание необходимо уделять равномерности заделки семян в почву, что обеспечивает равный доступ высеянных семян к основным факторам роста³ [17–20].

Особое внимание в условиях недостаточного увлажнения следует уделять влагосбережению. Важно, чтобы влага поступала к семенам и корневым системам высеваемых культур [21; 22]. Качественная подготовка почвы обеспечивается дисковыми рабочими органами, которые измельчают и перемещают растительные остатки на глубину ниже заделки семян, а поверхность поля выравнивается [23]. В конструкции сошников также чаще всего используются диски [24].

В другой статье исследуются усовершенствованные дисковые сошники, анализируется параметрическая оптимизация, основанная на силовом взаимодействии с обрабатываемой средой [25]. Зарубежные ученые используют полимерные покрытия сошников для повышения качества посева: забивание рабочих органов уменьшается, тяговое сопротивление сеялки, которое зависит непосредственно от скорости движения, снижается [26; 27].

Почва может деградировать из-за интенсивной обработки: органическое вещество теряется в связи с уплотнением. При уменьшении количества органического вещества жизнеспособность почвы ухудшается, что отрицательно сказывается на плодородии [28; 29]. Уплотнение почвы снижается при уменьшении массы сеялки и интенсивности воздействия на нее рабочими органами [30–34].

Таким образом, селекционно-семеноводческий процесс включает в себя несколько этапов с различной технологией выполнения работ и высокими требованиями к качеству выполнения агротехнических операций посевными

² No-Tillage Seeding in Conservation Agriculture / ed. by C. J. Baker, K. E. Saxton. 2nd ed. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007. 341 p. URL: <http://www.fao.org/3/al298e.pdf> (дата обращения: 20.10.2021).

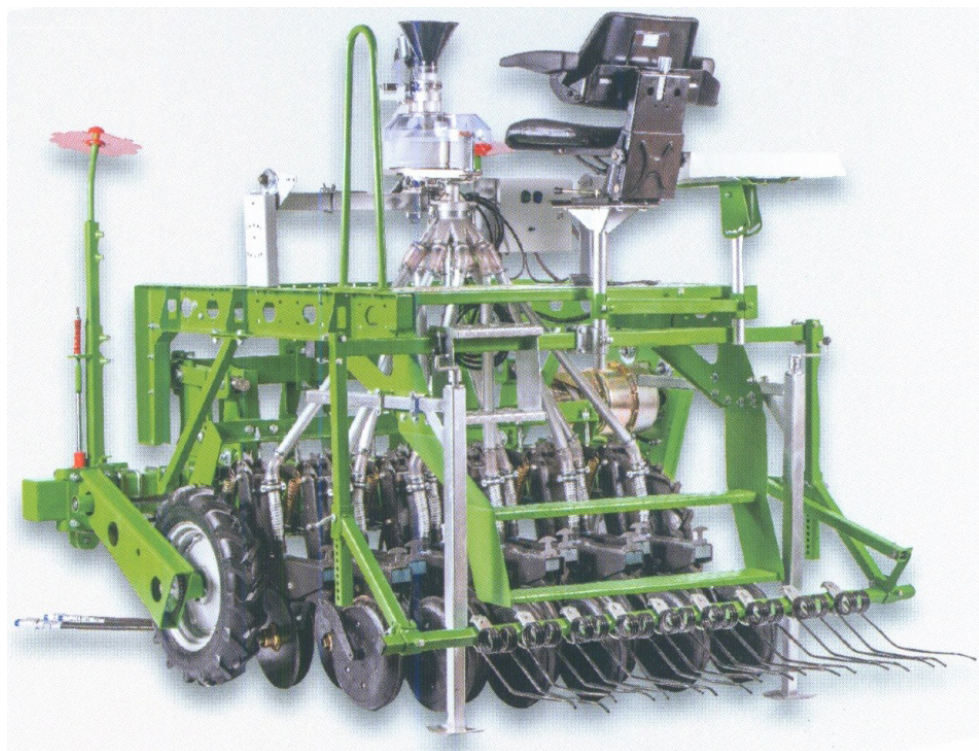
³ Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses [Электронный ресурс]. URL: <https://animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods-for-sod-seeding-of-small-seeded-legumes-and-grasses.pdf> (дата обращения: 22.10.2021).

машинами. Определение агротехнических показателей высева семян следует производить как для различных сельскохозяйственных культур, так и по различным агрофонам.

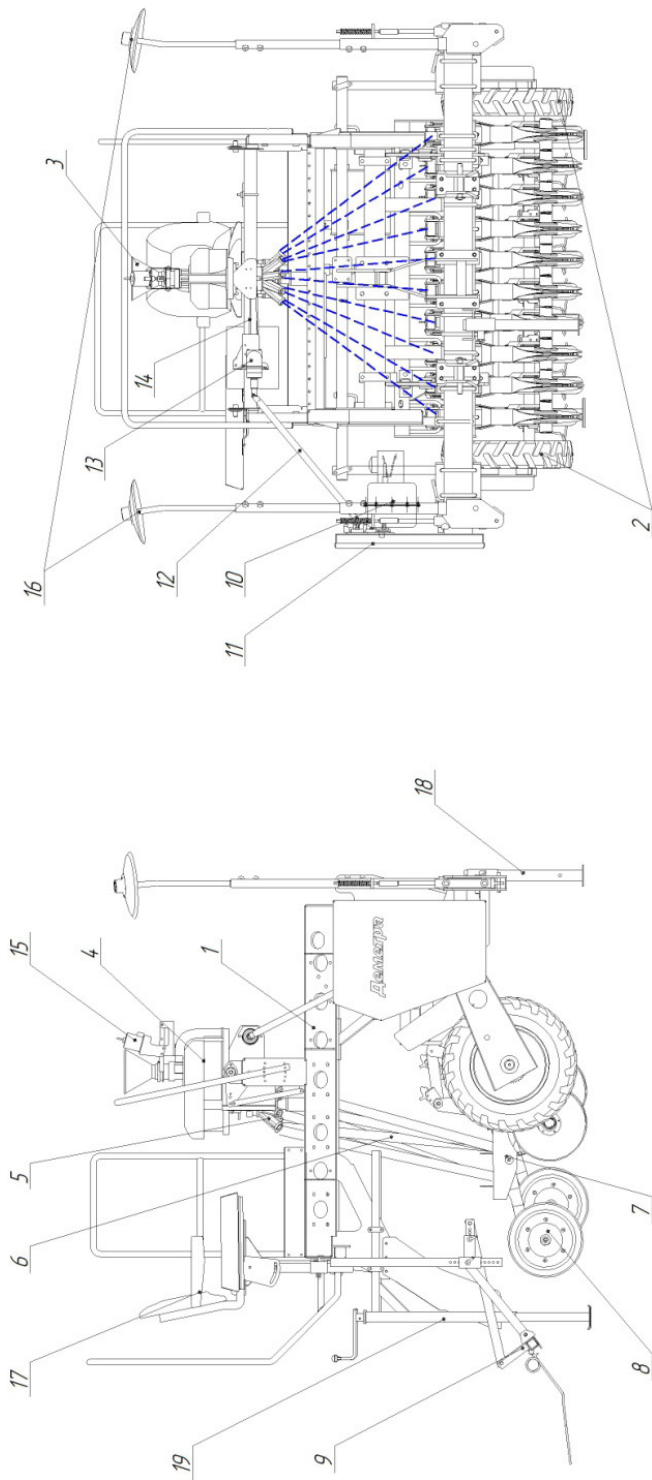
Материалы и методы

В связи с вышесказанным в ФГБНУ «АНЦ “Донской”» совместно с компанией Wintersteiger была разработана сеялка селекционная «Деметра» (рис. 1). Она предназначена для точного рядового посева семян следующих культур: зерновые и крупяные культуры с массой 1 000 зерен до 150 г (пшеница, ячмень, овес, рис, гречиха и др.); зернобобовые культуры с массой 1 000 зерен свыше 150 г (горох); масличные и эфиромасличные культуры (рапс, лен, горчица); кормовые культуры (сорго, просо, трикале, клевер); многолетние травы.

Сеялка селекционная «Деметра» состоит из следующих основных узлов и механизмов: рама 1, опорно-приводные колеса 2, высевающая система, включающая наполнительную воронку 3, конический дозатор 4, ротационный распределитель с электродвигателем 5, телескопические семяпроводы 6, сошники 7, прикатывающие колеса 8, загортачи (мульчер) 9, механизм привода (опорно-приводные колеса 2, редуктор 10, зубчатый перебор 11, карданный вал 12, конический редуктор 13, цепная передача 14), рукоятка открытия наполнительной воронки или электромагнитный клапан (в зависимости от комплектации) 15, гидрофицированные маркеры 16, кресло оператора 17, центральная опора 18, винтовые домкраты 19 (рис. 2).



Р и с. 1. Общий вид сеялки селекционной «Деметра»
F i g. 1. General view of the Demetra selection seeder



Р и с. 2. Схема сеялки селекционной «Деметра»
F i g. 2. Scheme of the Demetra selection seeder

Техническая характеристика сеялки селекционной «Деметра» представлена в таблице 1.

Методика проведения исследований заключалась в определении основных агротехнических показателей сеялки: высевающая способность (минимальная и максимальная), норма высева (заданная и фактическая), отклонение фактической нормы высева семян от заданной, неравномерность высева семян по семяпроводам, неустойчивость общего высева семян, дробление семян, глубина заделки семян при оптимальном заглублении сошников, количественная доля семян, заделанных на заданную глубину, высота гребней после прохода агрегата,

число всходов и относительная полевая всхожесть. Перечень основных агротехнических показателей и методика их определения устанавливались на основании ГОСТа⁴.

В связи с особенностями технологического процесса селекционного высева семян были приняты соответствующие режимы работы сеялки. Диапазон скоростей работы варьировался от 3 до 6 км/ч, что не противоречит данным техническим характеристикам сеялки (до 8 км/ч) и способствует получению требуемых качественных показателей (табл. 1).

Результаты исследования

Принцип действия сеялки селекционной «Деметра» заключается

Таблица 1

Table 1

Техническая характеристика сеялки селекционной «Деметра»
Technical characteristics of the selection seeder Demetra

Наименование показателя / Indicator name	Размерность / Dimension	Значение показателя / Indicator value
Тип / Type	–	навесная / mounted
Агрегатирование (тяговый класс трактора) / Aggregation (traction class of a tractor)	тс / ts	1,4
Ширина захвата / Capture width	м / m	1,05
Глубина заделки семян / Seeding depth	мм / mm	до 80 (в зависимости от культуры) / up to 80 (depending on the culture)
Расстояние между рядами сошников / Distance between rows of coulters	см / cm	15
Количество рядов сошников / Number of rows of coulters	шт. / pcs.	7
Тип высевающего аппарата / Sowing machine type	–	ротационный конический дозатор / rotary conical metering device
Длина деланки / Plot length	м / m	1,90–32,92
Изменение передаточных отношений / Change of gear ratios	–	60-ступенчатый редуктор, зубчатый перебор / 60-stage gear reducer, toothed override
Рабочая скорость / Working speed	км/ч / km/h	до 8 / up to 8

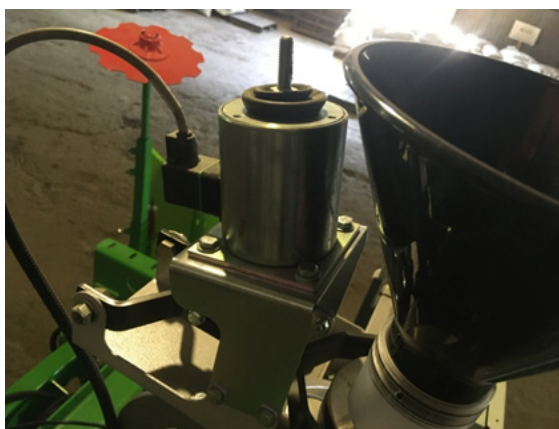
⁴ ГОСТ 31345-2017. Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2018. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160963> (дата обращения: 20.10.2021).

в следующем. При движении сеялки засыпанные через наполнительную воронку семена непрерывно и равномерно поступают на конический дозатор. Это происходит в результате открытия рукоятки вручную (рис. 3а), с помощью электромагнитного клапана (рис. 3б) с использованием ножной педали (без GPS) (рис. 3с) или же автоматически с использованием навигационной системы GPS (в зависимости от комплектации).

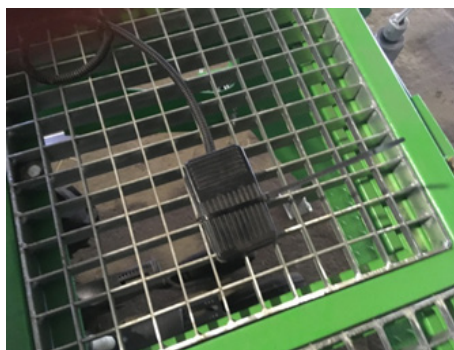
Возможность посева делянок большей длины и площади является основным преимуществом высевальной системы по сравнению с аналогами. При проходе делянки конический дозатор вращается от приводного колеса с помощью редуктора и зубчатого перебора с карданным валом, конического редуктора и цепной передачи. Он делает один оборот, захватывает семена и направляет их на ротационный распределитель, который обеспечивает точность высева (рис. 4).



a)



b)



c)

Р и с. 3. Наполнительная воронка и конический дозатор:

- а) наполнительная воронка и конический дозатор с рукояткой ручного управления;
 б) электромагнитный клапан привода наполнительной воронки; в) ножная педаль для включения электромагнитного клапана привода наполнительной воронки (посев без навигационной системы GPS)

Fig. 3. Filling funnel and conical dispenser: a) filling funnel and conical dispenser with manual control handle; b) solenoid valve for the filling funnel drive; c) foot pedal for switching on the solenoid valve of the filling funnel drive (sowing without GPS navigation system)



Р и с. 4. Ротационный распределитель с электродвигателем
F i g. 4. A rotary distributor with an electric motor

Привод ротационного распределителя осуществляется непрерывно от электродвигателя, который распределяет семена по телескопическим семяпроводам к двухдисковым сошникам (рис. 5).



Р и с. 5. Сошник с прикатывающим колесом
F i g. 5. A coulter with a press wheel

В качестве преимущества данного типа сошника следует отметить возможность легкой и удобной регулировки глубины заделки семян путем перемещения рукоятки прикатывающего колеса. При этом прикатывающие колеса в свою очередь обеспечивают уплотнение почвы в засеянных рядах с целью создания контакта между высеянными семенами и влажной почвой на дне борозды.

Далее семена укладываются на дно борозд, образованных двухдисковыми сошниками в почве. Заделка семян, высеянных сошниками в почву, производится естественной осыпью почвы со стенок борозд. Идущие сзади за сошниками загортачи заравнивают и мульчируют верхний слой почвы после посева. Центральная опора и винтовые домкраты используются для защиты сеялки от опрокидывания, а также для постановки на длительное хранение. Винтовые домкраты предназначены для подъема и опускания сеялки при проведении технического обслуживания.

Сеялка селекционная «Деметра» используется для посева опытных делянок. Норма высева семян обеспечивается навеской семян с учетом длины засеваемой делянки и ширины захвата сеялки. При увеличении длины делянки расчетным путем увеличивается масса навески посевного материала. Точность и равномерность высева при этом обеспечивается коническим дозатором и ротационным распределителем посевного материала.

Определение основных агротехнических показателей сеялки селекционной «Деметра» производилось совместно с ФГБУ «Северо-Кавказская МИС» в два этапа (протокол № 11-02-20 (1030022) приемочных испытаний сеялки селекционной «Деметра»). На первом этапе в лабораторных условиях определялась минимальная и максимальная высевающая способность

сеялки, заданная и фактическая норма высева семян, отклонение фактической нормы высева семян от заданной, неравномерность высева семян по семяпроводам, неустойчивость общего высева семян, а также дробление семян. На втором этапе проводились полевые исследования, в ходе которых определялись глубина заделки семян при оптимальном заглублении сошников, количественная доля семян, заделанных на заданную глубину, высота гребней после прохода агрегата, число всходов и относительная полевая всхожесть.

При проведении лабораторных исследований по определению агротехнических показателей, выполняемых сеялкой, высеивались семена озимой пшеницы сорта Станичная (дата проведения исследований 17.10.2019), ярового ячменя сорта Леон и гороха Аксайский усатый (дата проведения исследований 12.03.2020). Насыпная плотность озимой пшеницы составила 780 кг/м^3 , ярового ячменя 692 кг/м^3 , гороха 822 кг/м^3 . Исследования производились в агрегате с трактором МТЗ-82. Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 2.

Анализ данных лабораторных исследований позволяет сделать заключение о том, что минимальная высевающая способность сеялки по исследуемым культурам составила 10 кг/га , максимальная высевающая способность для озимой пшеницы $349,7 \text{ кг/га}$, ярового ячменя $350,1 \text{ кг/га}$ и гороха $348,3 \text{ кг/га}$. Данные с высокой точностью укладываются в рамки, заданные агротехническими требованиями ($10\text{--}350 \text{ кг/га}$). При заданной норме высева семян озимой пшеницы 240 кг/га фактически получено $240,78 \text{ кг/га}$ на минимальной длине делянки ($1,95 \text{ м}$) и $240,04 \text{ кг/га}$ – на максимальной длине делянки ($32,92 \text{ м}$). Отклонение фактического высева от заданного по делянкам составило $0,33 \%$ для минимальной длины и $0,02 \%$ от

Результаты лабораторных исследований сеялки селекционной «Деметра»
Results of laboratory studies of the selection seeder Demetra

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя / The value of the indicator		
Состав агрегата / Unit composition	МТЗ-82 + Сеялка селекционная «Деметра» / MTZ-82 + Demetra selection seeder		
Культура / Culture	Озимая пшеница / Winter wheat	Яровой ячмень / Spring barley	Горох / Pea
Высевающая способность сеялки, кг/га / Seeding capacity of the seeder, kg/ha:			
– минимальная / minimum	10,0	10,0	10,0
– максимальная / maximum	349,7	350,1	348,3
Норма высева семян, кг/га / Seeding rate, kg/ha:			
– заданная / specified	240	200	200
– фактическая при минимальной длине делянки (1,95 м) / actual at minimum plot length (1.95 m)	240,78	198,93	199,41
– фактическая при максимальной длине делянки (32,92 м) / actual with the maximum length of the plot (32.92 m)	240,04	200,34	200,15
Отклонение фактической нормы высева от заданной, % / Departure of the actual seeding rate from the specified one, %:			
– минимальная длина делянки (1,95 м) / minimum plot length (1.95 m)	0,33	0,54	0,30
– максимальная длина делянки (32,92 м) / maximum plot length (32.92 m)	0,02	0,17	0,08
Неравномерность высева семян по семяпроводам, % / Unevenness of sowing seeds through the seed tubes, %:			
– минимальная длина делянки (1,95 м) / minimum plot length (1.95 m)	1,10	0,93	1,37
– максимальная длина делянки (32,92 м) / maximum plot length (32.92 m)	1,53	0,66	0,22
Неустойчивость общего высева семян, % / Instability of general sowing of seeds, %:			
– минимальная длина делянки (1,95 м) / minimum plot length (1.95 m)	1,10	0,66	0,93
– максимальная длина делянки (32,92 м) / maximum plot length (32.92 m)	0,78	0,22	0,10
Дробление семян, % / Crushing of seeds, %	0,04	0,03	0,25

максимальной. При заданной норме высева семян ярового ячменя 200 кг/га фактическая норма на минимальной длине делянки составляет 198,93 кг/га, максимальной 200,34 кг/га. Отклонение фактического высева семян ярового ячменя от заданного составляет

0,54 % для минимальной длины и 0,17 % для максимальной. При заданной норме высева семян гороха 200 кг/га фактическая норма составляет 199,41 кг/га на минимальной длине делянки и 200,15 кг/га на максимальной. Отклонение фактического высева

семян гороха от заданного составляет 0,30% для минимальной длины деланки и 0,08% для максимальной. Таким образом, можно сделать заключение, что сеялка селекционная «Деметра» отвечает предъявляемым агротехническим требованиям по параметру отклонения фактической нормы высева от заданной (не более 3 %).

Неравномерность высева между семяпроводами на озимой пшенице составляет 1,10 %, на яровом ячмене 0,93 %, на горохе 1,37 % на минимальной длине деланки. Неравномерность высева на максимальной длине деланки составила 1,53, 0,66, 0,22 % соответственно. Это с высокой точностью соответствует предъявляемым агротехническим требованиям (не более 3 %). Неустойчивость общего высева семян составляет 1,10, 0,66, 0,93 % по культурам для минимальной длины деланки и 0,78, 0,22, 0,10 % по культурам на максимальной длине. Это соответствует предъявляемым агротехническим требованиям для обоих вариантов длины деланки (не более 2,8 %). Дробление семян озимой пшеницы составляет 0,04 %, семян ярового ячменя 0,03 %, семян гороха 0,25 %, что отвечает предъявляемым агротехническим требованиям (не более 0,3 %).

Таким образом, сеялка селекционная «Деметра» на высева семян озимой пшеницы, ярового ячменя и гороха показала высокое соответствие всем предъявляемым агротехническим требованиям по качеству высева.

Полевые исследования сеялки селекционной «Деметра» проходили на территории ФГБНУ «АНЦ «Донской»» на посеве озимой пшеницы по двум фонам (задискованной стерне озимой пшеницы и по пару с предварительной предпосевной культивацией почвы), а также на посеве ярового ячменя на фоне с выполненной предпосевной культивацией.

Так, по фону задискованной стерни озимой пшеницы (фон 1), дата проведения исследований 27.09.2019, микро-рельеф поля был слабо выражен – до 2,6 см. Влажность почвы в слое 0–5 см составила 20,28 %, в слое 5–10 см – 19,67 %, в слое 10–15 см – 15,54 %. Данные отвечают предъявляемым агротехническим требованиям к операции посева семян (до 30 %). Твердость почвы по слоям составила 0,83, 1,20, 1,54 МПа на глубине заделки семян до 8 см. Твердость почвы соответствует предъявляемым агротехническим требованиям (до 1,5 МПа). Обработка почвы под посев качественная. Глубина взрыхленного слоя в среднем составила 6,6 см, что соответствует глубине заделки семян. Массовая доля комков размером до 10 мм составила 65,9 %, что отвечает агротехническим требованиям (не менее 50 %). Сорная растительность отсутствовала. Таким образом, условия для посева озимой пшеницы на этом фоне были оптимальными и соответствовали агротребованиям.

На фоне черный пар с предварительной предпосевной культивацией (фон 2), дата проведения исследований 11.10.2019, микро-рельеф поля составляет до 2,2 см. Влажность почвы в слое 0–5 см составила 16,01 %, в слое 5–10 см – 23,31 %, в слое 10–15 см – 24,02 %, что отвечает предъявляемым агротехническим требованиям. Твердость почвы по слоям составила 0,24, 0,26, 0,30 МПа, что соответствует предъявляемым агротехническим требованиям. Глубина взрыхленного слоя 12,8 см, что гораздо больше глубины заделки семян. Массовая доля комков размером до 10 мм 80,7 %. Сорная растительность отсутствовала. Таким образом, на этом фоне показатель глубины взрыхленного слоя был экстремальным, остальные показатели условий проведения исследований

соответствовали предъявляемым агротехническим требованиям.

Посев ярового ячменя проводился по фону черный пар с предварительной предпосевной культивацией (фон 3), дата проведения исследований 27.03.2020. Микрорельеф поля составляет до 2,7 см. Влажность почвы в слое 0–05 см составила 20,32 %, в слое 5–10 см – 27,51 %, в слое 10–15 см – 21,37 %. Это отвечает предъявляемым

агротехническим требованиям. Твердость почвы по слоям составила 0,23, 0,30, 0,46 МПа. Глубина взрыхленного слоя 8,2 см. Массовая доля комков размером до 10 мм 88,2 %. Сорная растительность отсутствовала. Таким образом, условия посева ярового ячменя на этом фоне были оптимальными и соответствовали предъявляемым агротребованиям. Результаты полевых исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

Результаты полевых исследований сеялки селекционной «Деметра»
The results of field studies of the Demetra selection seeder

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя / The value of the indicator		
Состав агрегата / Unit composition	МТЗ-82 + Сеялка селекционная «Деметра» / MTZ-82 + Demetra selection seeder		
Культура / Culture	Озимая пшеница / Winter wheat		Яровой ячмень / Spring barley
	фон 1 / backdrop 1	фон 2 / backdrop 2	фон 3 / backdrop 3
Скорость движения агрегата, м/с (км/ч) / Aggregate movement speed, m/s (km/h)	0,58 (2,1)	1,56 (5,6)	0,97 (3,5)
Норма высева семян, кг/га / Rate of sowing seeds, kg/ha:			
– заданная / specified	225	240	200
– фактическая / actual	225	240	200
Глубина заделки семян при оптимальном заглублении сошников / Depth of sowing seeds with optimal depth of the coulter:			
– установочная глубина, мм / installation depth, mm	60	60	50
– средняя глубина, мм / average depth, mm	57,8	52,0	49,7
– стандартное отклонение, ±мм / standard departure, ±mm	9,1	13,8	9,5
– коэффициент вариации, % / the coefficient of variation, %	15,89	26,59	19,07
Количественная доля семян, заделанных на заданную глубину, % / Quantity of seeds embedded at a given depth, %	88,3	79,7	85,8
Число семян, не заделанных в почву, шт./м ² / The number of seeds not embedded in the soil, pcs./m ²	0	0	0
Высота гребней после прохода сеялки, см / Height of the ridges after the seeder passed, cm	2,6	2,9	3,0
Число всходов, шт./м ² / The number of shoots, pcs./m ²	444	476	428
Относительная полевая всхожесть, % / Relative field germination capacity, %	96,9	82,3	92,7

Посев озимой пшеницы по фону 1 производился на скорости 2,1 км/ч. Норма высева семян составила 225 кг/га. Средняя глубина заделки семян 57,8 мм, при заданной глубине 60 мм. Компактность заделки семян составила 88,3%, что соответствует агротребованиям (не менее 80 %). Не заделанных в почву семян не наблюдалось. Высота гребней после прохода агрегата 2,6 см. Относительная полевая всхожесть составила 96,9 %.

На фоне 2 по обработанному пару скорость движения агрегата составила 5,6 км/ч при норме высева семян 240 кг/га. Средняя глубина заделки семян 52,0 мм соответствовала установочной 60 мм. Следует отметить более низкую компактность заделки семян 79,7 %, отклонение от нормы в 0,3 % объясняется экстремальностью фона из-за некачественной предпосевной культивации пара. Не заделанных в почву семян не наблюдалось. Высота гребней составила 2,9 см, что соответствует предъявляемым агротехническим требованиям. Относительная полевая всхожесть составила 82,3 %.

При посеве ярового ячменя на фоне 3 скорость составила 3,5 км/ч с нормой высева 200 кг/га. Средняя глубина заделки семян 49,7 мм при заданной 50 мм. Компактность заделки семян 85,8 %, что отвечает агротехническим требованиям. Высота гребней после прохода агрегата 3,0 см. Не заделанных в почву семян не наблюдалось. Относительная полевая всхожесть ярового ячменя составила 92,7 %.

Таким образом, по полученным данным полевых исследований сеялки селекционной «Деметра» можно сделать

заключение, что сеялка обеспечивает качественное выполнение технологической операции посева как для озимой пшеницы, так и для ярового ячменя.

Обсуждение и заключение

При проведении исследований сеялка селекционная «Деметра» обеспечила качественное выполнение технологического процесса высева семян как для минимальной (1,95 м), так и для максимальной (32,92 м) длины делянки. Отклонение фактического высева от заданного на культурах 0,02–0,54 %. Неустойчивость общего высева по культурам варьировалась в пределах 0,10–1,10 %. Неравномерность высева по культурам 0,22–1,53%. Дробление семян высевающим аппаратом сеялки по культурам составила 0,03–0,25 %. Установлено, что при скорости движения агрегата 2,1–5,6 км/ч рабочие органы сеялки обеспечили глубину заделки семян 49,7–57,8 мм, а также фактическую норму высева по культурам 200–240 кг/га. Количественная доля заделанных семян по культурам при этом составляет 79,7–88,3 %. Высота гребней после прохода сеялки селекционной «Деметра» в агрегате с трактором МТЗ-82 по культурам варьируется в пределах 2,6–3,0 см. Семена, не заделанные в почву рабочими органами сеялки, отсутствуют. Относительная полевая всхожесть по возделываемым культурам составляет 82,3–96,9 %.

Таким образом, можно сделать заключение, что сеялка селекционная «Деметра» с высокой точностью отвечает предъявляемым агротехническим требованиям по всем агротехническим показателям на посеве озимой пшеницы и ярового ячменя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крючин Н. П., Вдовкин С. В., Крючин П. В. Селекционная сеялка для трудносыпучих мелкосеменных культур // Сельский механизатор. 2015. № 3. С. 17. URL: [http://selmech.msk.ru/315.html#_Селекционная_сеялка_для_\(дата_обращения:_20.10.2021\)](http://selmech.msk.ru/315.html#_Селекционная_сеялка_для_(дата_обращения:_20.10.2021)).

2. Петров А. М., Краснов С. В. Разработка селекционной сеялки и ее полевые испытания // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2004. № 4. С. 42. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23632420> (дата обращения: 20.10.2021).
3. Петров А. М., Петин А. В. Разработка дискового высевашающего аппарата селекционной сеялки и обоснование его параметров // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2006. № 5. С. 106–108. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25827589> (дата обращения: 20.10.2021).
4. Кравченко В. С., Кравченко Э. В., Будагов И. В. Селекционная пневматическая сеялка для пунктирного посева семян кукурузы // Наука. Технологии (Политехнический вестник). 2013. № 1–2. С. 75–77. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21182025> (дата обращения: 20.10.2021).
5. Шевченко А. П., Коробкин И. О. Усовершенствование высевашающего аппарата селекционной сеялки // Сельский механизатор. 2011. № 5. С. 9. URL: http://www.selmech.msk.ru/511.htm#_Усовершенствование_высевашающего_аппа (дата обращения: 20.10.2021).
6. Крючин Н. П., Морев Е. А. Пневматическая селекционная сеялка с центральным роторно-лопастным дозатором для мелкосеменных культур // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 3. С. 30–32. URL: http://old.ssaa.ru/_struct/000/Izvest_3,%202010.pdf (дата обращения: 20.10.2021).
7. Петров А. М., Зелева Н. В. Разработка дисково-ленточного высевашающего аппарата селекционной сеялки // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2009. № 3. С. 29–32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12330643> (дата обращения: 20.10.2021).
8. Горобей В. П., Полякова Н. Ю., Канаев О. О. Исследование сеялки селекционно-семеноводческой с приводом высевашающего аппарата мотор-редуктором на базе коллекторного двигателя // Таврический вестник аграрной науки. 2013. № 2. С. 55–58. URL: http://tvan.niishk.ru/data/documents/vestnik_2_2013.pdf (дата обращения: 20.10.2021).
9. Крючин Н. П., Сафонов С. В., Крючин А. Н. Разработка электрифицированной пневматической мини-сеялки для посева трав // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 3. С. 29–32. URL: http://old.ssaa.ru/_struct/000/Izvest_3,%202012.pdf (дата обращения: 20.10.2021).
10. Давыдова С. А., Чаплыгин М. Е. Техническая оснащенность селекции и семеноводства кукурузы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 3. С. 66–74. doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-66-74>
11. Посев селекционного материала по стерневому фону / В. А. Домрачев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 2. С. 64–65. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16333667> (дата обращения: 20.10.2021).
12. Петров А. М., Сыркин В. А. Результаты полевых исследований экспериментальной селекционной сеялки с катушечно-штифтовым высевашающим аппаратом // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. Т. 2, № 2. С. 36–39. doi: https://doi.org/10.12737/article_58f847cbe6c850.40145440
13. Деревяно Д. А. Исследование травмирования семян при их перемещении по дисковому сошнику модернизированной конструкции // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 3. С. 37–42. URL: <https://www.vimsmi.com/jour/article/view/137> (дата обращения: 20.10.2021).
14. Теоретическое обоснование основных параметров сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева / В. А. Сысуев [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 3. С. 321–331. doi: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331>
15. Сошник для двухстрочного посева с разноуровневым внесением удобрений [Электронный ресурс] / Д. С. Пякорский [и др.] // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2017. № 1. URL: <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/779-00306> (дата обращения: 20.10.2021).
16. Аванькина А. С., Голубев В. В., Фирсов А. С. Исследование взаимодействия комбинированного сошника с почвой // Вестник НГИЭИ. 2017. № 3. С. 15–22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28862830> (дата обращения: 20.10.2021).
17. Яковлев В. Т., Салеев Ф. И. Анализ некоторых параметров процесса укладки семян зернутоковыми сеялками // Ползуновский альманах. 2017. № 3–1. С. 76–80. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30502859> (дата обращения: 20.10.2021).

18. Давлетшин М. М., Атнагулов Д. Т. Дисковый сошник для отечественных зернотуковых сеялок // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2010. № 10. С. 30–33. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16392925> (дата обращения: 20.10.2021).
19. Назаров Н. Н., Яковлев Н. С., Мясенко В. И. Посевной рабочий орган для реализации бороздочного ленточного посева зерновых // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 5. С. 56–63. URL: <https://sibvest.elpub.ru/jour/article/view/18> (дата обращения: 20.10.2021).
20. Мачнев В. А., Мачнев А. В., Ларин М. А. Сеялка-культиватор для подпочвенно-разбросного посева с направляющими-распределителями семян // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 8. С. 16–17. URL: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/69448> (дата обращения: 20.10.2021).
21. Ehdaiе В., Layne А. P., Waines J. G. Root System Plasticity to Drought Influences Grain Yield in Bread Wheat // Euphytica. 2012. Vol. 186. P. 219–232. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0585-9>
22. Seasonal and Inter-Annual Variability of Soil Moisture Stress Function in Dryland Wheat Field, Australia / V. R. Akuraju [et al.] // Agricultural and Forest Meteorology. 2017. Vol. 232. P. 489–499. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.007>
23. Ротационные дисковые рабочие органы как базовый элемент в комбинированных агрегатах для обработки почвы и посева [Электронный ресурс] / Е. И. Трубилин [и др.] // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 91. URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/101.pdf> (дата обращения: 20.10.2021).
24. Петровец В. Р., Дудко Н. И., Гутарев В. В. Исследование дисковых сошников для совмещенного внесения минеральных удобрений с посевом зерновых культур // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 2. С. 107–110. URL: <https://elc.baa.by/vestnik/vestnik2016-2/vestnik2016-2.pdf> (дата обращения: 20.10.2021).
25. Нотов Р. А. Исследование работы дисковых сошников сеялки с полимерным покрытием // Аграрный вестник Урала. 2013. № 7. С. 33–34. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20267689> (дата обращения: 20.10.2021).
26. Soil Moisture Influence in the Soil Tillage Operations [Электронный ресурс] / P. Cardei [et al.] // 9th International Conference on Thermal Equipments, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2020), E3S Web of Conferences (Jan. 2020). Vol. 180. 2020. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018003002>
27. Effect of Various Soil Cultivation Methods on Some Microbial Soil Properties / Zs. Sándor [et al.] // DRC Sustainable Future. 2020. Vol. 1, Issue 1. P. 14–20. doi: <https://doi.org/10.37281/DRCSF/1.1.3>
28. Helman D., Lensky I. M., Bonfil D. J. Early Prediction of Wheat Grain Yield Production from Root-Zone Soil Water Content at Heading Using Crop RS-Met // Field Crops Research. 2019. Vol. 232. P. 11–23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.12.003>
29. Пархоменко С. Г., Пархоменко Г. Г. Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 4. С. 15–19. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25871252> (дата обращения: 20.10.2021).
30. Soil and Tillage Research: Why Still Focus on Soil Compaction? [Электронный ресурс] / C. Bluett [et al.] // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.028>
31. Пархоменко Г. Г., Пархоменко С. Г. Оптимизация показателей технологических процессов сельскохозяйственного производства в растениеводстве // Хранение и переработка зерна. 2017. № 1. С. 55–60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28337912> (дата обращения: 20.10.2021).
32. Пархоменко Г. Г., Пархоменко С. Г. Снижение уплотнения почвы при производстве зерна // Хранение и переработка зерна. 2017. № 2. С. 20–24. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28847130> (дата обращения: 20.10.2021).
33. Historical Increase in Agricultural Machinery Weights Enhanced Soil Stress Levels and Adversely Affected Soil Functioning [Электронный ресурс] / T. Keller [et al.] // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>
34. Energy Requirements for Alleviation of Subsoil Compaction and the Effect of Deep Tillage on Sunflower (*Helianthus Annus L.*) Yield in the Western Region of Argentina’s Rolling Pampa / G. F. Botta [et al.] // Proceedings of International Scientific Conference “Engineering for Rural Development” (22–24 May 2019). Jelgava, 2019. P. 174–178. doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N216>

Поступила 28.10.2021; одобрена после рецензирования 19.11.2021; принята к публикации 10.12.2021

Об авторах:

Пахомов Виктор Иванович, и. о. директора Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), заведующий кафедрой технологий и оборудования переработки продукции АПК Донского государственного технического университета (344000, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, Researcher ID: Y-7085-2019, vnptim@gmail.com

Камбулов Сергей Иванович, главный научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), профессор кафедры технологий и оборудования переработки продукции АПК Донского государственного технического университета (344000, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, Researcher ID: A-6156-2019, Scopus ID: 57207655797, kambulov.s@mail.ru

Божко Игорь Владимирович, старший научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4079>, Researcher ID: E-9518-2016, Scopus ID: 57204682997, i.v.bozhko@mail.ru

Пархоменко Галина Геннадьевна, ведущий научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1944-216X>, Researcher ID: D-2633-2019, parkhomenko.galya@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

В. И. Пахомов – формулирование концепции решения.

С. И. Камбулов – научное руководство, постановка задачи, критический анализ и доработка решения.

И. В. Божко – определение методологии исследования, сбор и анализ материалов по теме исследования, доработка текста.

Г. Г. Пархоменко – анализ научных источников по теме исследования, критический анализ и доработка решения.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Kryutchin N.P., Vdovkin S.V., Kryutchin P.V. Selection Drill for Hard Loose Seeds. *Selskiy Mekhanizator* = Rural Mechanic. 2015; (3):17. Available at: http://selmech.msk.ru/315.html#_Селекционная_сеялка_для (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

2. Petrov A.M., Krasnov S.V. [Development of a Selection Planter and Its Field Trials]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2004; (4):42. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23632420> (accessed 20.10.2021). (In Russ.)

3. Petrov A.M., Petin A.V. [Development of a Disc Seeding Apparatus for the Selection Seeder and Justification of Its Parameters]. *Vestnik FGOU VPO "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"* = Moscow Goryachkin Agroengineering University Bulletin. 2006; (5):106-108. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25827589> (accessed 20.10.2021). (In Russ.)

4. Kravchenko V.S., Kravchenko E.V., Budagov I.V. Breeding Air Seeder for Dotted Sowing Corn Seeds. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (Politekhicheskiy vestnik)* = Science. Engineering. Technology (Polytechnical Bulletin). 2013; (1-2):75-77. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21182025> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

5. Shevchenko A.P., Korobkin I.O. Improvement of the Sowing Machine Selection Drills. *Selskiy Mekhanizator* = Rural Mechanic. 2011; (5):9. Available at: http://www.selmech.msk.ru/511.htm#_Усовершенствование_высевающего_аппа (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

6. Kryuchin N.P., Morev Ye.A. [Pneumatic Selection Seeder With Central Rotary-Blade Metering for Small-Seeded Crops]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2010; (3):30-32. Available at: http://old.ssaa.ru/_struct/000/Izvest_3,%202010.pdf (accessed 20.10.2021). (In Russ.)
7. Petrov A.M., Zeleva N.V. [Development of a Disk-Belt Sowing Machine for a Selection Planter]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2009; (3):29-32. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12330643> (accessed 20.10.2021). (In Russ.)
8. Gorobey V.P., Polyakova N.Yu., Kanaev O.O. [Study of Selection and Seed-Growing Planter with a Gearmotor Driven Seeding Unit Based on a Collector Motor]. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Tavrida Bulletin of Agrarian Science. 2013; (2):55-58. Available at: http://tvan.niishk.ru/data/documents/vestnik_2_2013.pdf (accessed 20.10.2021). (In Russ.)
9. Kryuchin N.P., Safonov S.V., Kryuchin A.N. [Development of an Electrified Pneumatic Mini-Seeder for Grass Seeding]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2012; (3):29-32. Available at: http://old.ssaa.ru/_struct/000/Izvest_3,%202012.pdf (accessed 20.10.2021). (In Russ.)
10. Davydova S.A., Chaplygin M.E. Technical Equipment of Corn Breeding and Seed Production. *Selskohozaistvennyye mashiny i tehnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2020; 14(3):66-74. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-66-74>
11. Domrachev V.A., Kem A.A., Sagalbekov U.M., Sagalbekov B.U. Crop of Seeds for Selection on the Raw Soil Background. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AIC. 2011; (2):64-65. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16333667> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
12. Petrov A.M., Syrkin V.A. Results of Field Surveys of Experimental Selection Seeder with the Bobbin and Bayonet Sowing Device. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2017; 2(2):36-39. (In Russ., abstract in Eng.) doi: https://doi.org/10.12737/article_58f847cbe6c850.40145440
13. Derevyanko D.A. Research of Damage of Seeds at Their Movement in Disk Coulter of Modernized Design. *Selskohozaistvennyye mashiny i tehnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2016; (3):37-42. Available at: <https://www.vimsmit.com/jour/article/view/137> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
14. Sysuev V.A., Demshin S.L., Cheremisinov D.A., Doronin M.S. Theoretical Justification of the Main Parameters of the Coulter Group of the Sod Seeder for Strip Sowing. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020; 21(3):321-331. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331>
15. Pyaskorsky D.S., Korneev E.A., Kem A.A., Demchuk E.V. The Opener for the Two-Line Seeding with Multilevel Fertilizer Application. *Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU* = Electronic Journal of Omsk SAU. 2017; (1). Available at: <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/779-00306> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
16. Avankina A.S., Golubev V.V., Firsov A.S. Study of the Interaction of Combined Openers with Soil. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGIEI. 2017; (3):15-22. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28862830> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
17. Yakovlev V.T., Saleev F.I. [Analysis of Some Parameters of the Process of Seed Placement by Grain-Tube Seeders]. *Polzunovskiy almanakh* = Polzunov Almanac. 2017; (3-1):76-80. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30502859> (accessed 20.10.2021). (In Russ.)
18. Davletshin M.M., Atnagulov D.T. Disk Coulter for Home Fertilizer-Grain Drills. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2010; (10):30-33. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16392925> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
19. Nazarov N.N., Yakovlev N.S., Myalenko V.I. A Sowing Tool to Realize Furrow Band Sowing of Grain Crops. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2016;

(5):56-63. Available at: <https://sibvest.elpub.ru/jour/article/view/18> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

20. Machnev V.A., Machnev A.V., Larin M.A. A Tiller-Seeder with Deflectors-Distributors of Seeds for Subsoil-Broadcast Sowing. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Agricultural Machinery. 2012; (8):16-17. Available at: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/69448> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

21. Ehdai B., Layne A.P., Waines J.G. Root System Plasticity to Drought Influences Grain Yield in Bread Wheat. *Euphytica*. 2012; 186:219-232. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0585-9>

22. Akuraju V.R., Ryu D., George B., et al. Seasonal and Inter-Annual Variability of Soil Moisture Stress Function in Dryland Wheat Field, Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017; 232:489-499. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.007>

23. Trubilin E.I., Sokhta K.A., Konovalov V.I., Danyukova O.V. Rotary Disc Working Bodies as the Basic Unit in the Combined Aggregate for Tillage and Seeding. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* = Scientific Journal of KubSAU. 2013; (91). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/101.pdf> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

24. Petrovets V.R., Dudko N.I., Gutarev V.V. Research into Disc Ploughshares for Combined Application of Mineral Fertilizers in Cereals. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2016; (2):107-110. Available at: <https://elc.baa.by/vestnik/vestnik2016-2/vestnik2016-2.pdf> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

25. Notov R.A. The Study of the Work of Disc Coulters with a Polymeric Covering. *Agrarnyy Vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2013; (7):33-34. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20267689> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

26. Cardei P., Sfiru R., Muraru S., Condruz P. Soil Moisture Influence in the Soil Tillage Operations. In: 9th International Conference on Thermal Equipments, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2020), E3S Web of Conferences (Jan. 2020). 2020. Vol. 180. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018003002>

27. Sándor Zs., Tállai M., Kincses I., et al. Effect of Various Soil Cultivation Methods on Some Microbial Soil Properties. *DRC Sustainable Future*. 2020; 1(1):14-20. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.37281/DRCSF/1.1.3>

28. Helman D., Lensky I.M., Bonfil D.J. Early Prediction of Wheat Grain Yield Production from Root-Zone Soil Water Content at Heading Using Crop RS-Met. *Field Crops Research*. 2019; 232:11-23. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.12.003>

29. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Measurement of Tractive Effort at the Drawbar of Tractor in Aggregate with Mounted Agricultural Machine. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Agricultural Machinery. 2016; (4):15-19. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25871252> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

30. Bluett C., Tullberg J.N., McPhee J.E., Antille D.L. Soil and Tillage Research: Why Still Focus on Soil Compaction? *Soil and Tillage Research*. 2019; 194. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.028>

31. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. [Optimization of Indicators of Technological Processes of Agricultural Production in Crop Production]. *Khranenie i pererabotka zerna* = Storage and Processing of Grain. 2017; (1):55-60. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28337912> (accessed 20.10.2021). (In Russ.)

32. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Reduced Soil Compaction in the Production of Grain. *Khranenie i pererabotka zerna* = Storage and Processing of Grain. 2017; (2):20-24. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28847130> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

33. Keller T., Sandin M., Colombi T., et al. Historical Increase in Agricultural Machinery Weights Enhanced Soil Stress Levels and Adversely Affected Soil Functioning. *Soil and Tillage Research*. 2019; 194. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>

34. Botta G.F., Antille D.L., Bienvenido F., et al. Energy Requirements for Alleviation of Subsoil Compaction and the Effect of Deep Tillage on Sunflower (*Helianthus Annus L.*) Yield in the Western

Region of Argentina's Rolling Pampa. In: Proceedings of International Scientific Conference "Engineering for Rural Development" (22-24 May 2019). Jelgava; 2019. p. 174-178. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N216>

Submitted 28.10.2021; approved after reviewing 19.11.2021; accepted for publication 10.12.2021

About the authors:

Viktor I. Pakhomov, Acting Director, Agricultural Research Center "Donskoy" (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation); Head of the Department of Technology and Equipment of Product Processing of AIC, Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, Researcher ID: Y-7085-2019, vnptim@gmail.com

Sergey I. Kambulov, Senior Researcher of the Field Mechanization Laboratory of the Plant Production Mechanization Department, Agricultural Research Center "Donskoy" (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation); Professor of the Department of Technology and Equipment of Product Processing of AIC, Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, Researcher ID: A-6156-2019, Scopus ID: 57207655797, kambulov.s@mail.ru

Igor V. Bozhko, Senior Researcher of the Field Mechanization Laboratory of the Plant Production Mechanization Department, Agricultural Research Center "Donskoy" (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4079>, Researcher ID: E-9518-2016, Scopus ID: 57204682997, i.v.bozhko@mail.ru

Galina G. Parkhomenko, Leading Researcher of the Field Mechanization Laboratory of the Plant Production Mechanization Department, Agricultural Research Center "Donskoy" (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1944-216X>, Researcher ID: D-2633-2019, parkhomenko.galya@yandex.ru

Contribution of the authors:

V. I. Pakhomov – formulation of the solution concept.

S. I. Kambulov – scientific guidance, problem formulation, critical analysis and refinement of the solution.

I. V. Bozhko – determination of research methodology, collection and analysis of materials on the topic of the study, finalization of the text.

G. G. Parkhomenko – analysis of scientific sources on the topic of the study, critical analysis and refinement of the solution.

All authors have read and approved the final manuscript.