

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611121>

Оригинальное исследование

Разработка технологии и технического средства прямого посева для условий засушливого земледелия

С.Д. Шепелёв¹, М.В. Пятаев¹, Е.Н. Кравченко²¹ Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Российская Федерация;² Челябинское монтажно-наладочное управление «Спецэлеватормеломонтаж», Челябинск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Прямой посев зерновых культур позволяет значительно повысить полевую всхожесть и, соответственно, урожайность в условиях крайнего дефицита влаги. В связи с этим, разработка технологии прямого посева применительно к условиям Южного Урала, где периодически повторяются сильные засухи, является актуальной задачей.

Цель работы — повышение урожайности зерновых культур в условиях засушливого земледелия за счет разработки технологии прямого посева, обеспечивающей заделку семян в увлажненный слой почвы.

Материалы и методы. Проведен сбор и анализ статистических данных по гидротермическим условиям возделывания сельскохозяйственных культур на Южном Урале. Спланированы и реализованы лабораторные и лабораторно-полевые эксперименты.

Результаты. Установлено, что на Южном Урале достаточно часто бывают засухи, во время которых увлажненные слои почвы, в которые требуется заделывать семена, находятся на глубине 8...10 см. Традиционные технологии посева не позволяют обеспечить заделку семян во влажную почву с условием обеспечения высокой полевой всхожести. На основании анализа способов прямого посева зерновых культур предложена технология, предполагающая заделку семян в увлажненный слой почвы. Разработана конструкция комбинированной посевной секции, состоящая из опорного колеса, прорезного диска, анкерного сошника и прикатывающего колеса. Конструкцией секции предусматривается параллелограммное крепление к раме посевного комплекса, что обеспечивает стабильную по глубине заделку семян. Лабораторные и лабораторно-полевые эксперименты позволили определить энергетические характеристики посевной секции, а также агротехнические и энергетические показатели посевного комплекса.

Практическая ценность исследований. Экспериментально установлено, что применение разработанной технологии прямого посева позволяет увеличить полевую всхожесть на 21,7% в сравнении с базовой технологией, прирост урожайности при этом составляет 9,2 ц/га.

Ключевые слова: no-till; посевной комплекс; посевная секция; анкерный сошник; тяговое сопротивление; полевая всхожесть.

Как цитировать:

Шепелёв С.Д., Пятаев М.В., Кравченко Е.Н. Разработка технологии и технического средства прямого посева для условий засушливого земледелия // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 2. С. 251–259. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611121>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611121>

Original Study Article

Development of the technology and technical means of direct sowing for dryland farming conditions

Sergey D. Shepelev¹, Maxim V. Pyataev¹, Evgeny N. Kravchenko²¹ South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russian Federation;² Chelyabinsk Installation-Setup Department Spetsselevatormelmontazh, Chelyabinsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Direct sowing of grain crops helps to significantly increase field germination and, consequently, the yield capacity under conditions of extreme moisture deficit. In this regard, the development of the direct sowing technology applied to the conditions of the South Urals, where severe droughts recur periodically, is a relevant task.

AIM: Increase of grain crops yield capacity in conditions of arid farming with the development of direct sowing technology that provides seed embedding in the moistened soil layer.

METHODS: Statistical data on hydrothermal conditions of crop cultivation in the South Urals were collected and analyzed. Laboratory and laboratory-field experiments were planned and conducted.

RESULTS: It has been found that droughts in the South Urals occur quite often. The moistened soil layers, in which it is necessary to embed seeds, are at a depth of 8...10 cm at these periods of time. Traditional sowing technologies are not capable of providing seed embedding in moist soil with the condition of high field germination. On the basis of the analysis of methods of direct sowing of grain crops, the technology, assuming seed embedding in moistened soil layer, is proposed. The design of a combined sowing section is developed and it consists of a support wheel, a slotted disk, a hoe coulter and a packer wheel. The design of the section considers the parallel-link attachment to the frame of the sowing facility, which ensures a stable depth of seed placement. Laboratory and laboratory-field experiments were helpful in determining the energy performance of the sowing section, as well as agrotechnical and energy indicators of the sowing facility.

CONCLUSION: It was experimentally found that the application of the developed technology of direct sowing helps to increase the field germination by 21.7% in comparison with the basic technology, the yield capacity increase is 9.2 c/ha.

Keywords: no-till; sowing facility; sowing section; hoe coulter; traction resistance; field germination rate.

To cite this article:

Shepelev SD, Pyataev MV, Kravchenko EN. Development of the technology and technical means of direct sowing for dryland farming conditions. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(2):251–259. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-611121>

Received: 21.10.2023

Accepted: 26.05.2024

Published online: 02.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

Технологии прямого посева относятся к комплексу современных мероприятий направленных на ресурсосбережение при возделывании сельскохозяйственных культур. Границы эффективности применения прямого посева определяются комплексом факторов, к которым, прежде всего, относятся климатические (сумма активных температур, количество осадков и их распределение), плодородие почв, предшественники, высеваемые культуры и т.д. Опыт возделывания сельскохозяйственных культур нескольких последних лет в зоне Южного Урала показывает, что основным фактором ограничивающим эффективность того или иного агроприёма является дефицит почвенной влаги. Анализ гидротермических условий возделывания по интегральному показателю Селянинова (ГТК) за четыре года и средняя урожайность зерновых в Челябинской области наглядно иллюстрируют объективность последнего тезиса (рис. 1).

Исходя из величины гидротермического коэффициента, условия возделывания сельскохозяйственных культур на Южном Урале с 2020 по 2021 гг. можно отнести к засушливым и крайне засушливым, что сильно отражается на средней урожайности зерновых. Особенно отчетливо это видно на фоне сравнения двух неурожайных годов с более благоприятными 2019 и 2022 гг., когда гидротермический коэффициент в основных зернопроизводящих районах области составил 1,05 и 0,93 соответственно.

На основе проведенных ранее исследований установлено, что в засушливые годы средняя глубина залегания увлажненных слоев почвы составляет 8–10 см. В этой связи посев традиционными сеялками с лаповыми или дисковыми сошниками нерационален, поскольку заделка семян ими производится на глубину 4–6 см, при этом семена попадают в пересушенную почву, в результате снижается полевая всхожесть, а соответственно и урожайность [1–4]. Таким образом, объективная оценка неблагоприятных условий возделывания сельскохозяйственных культур,

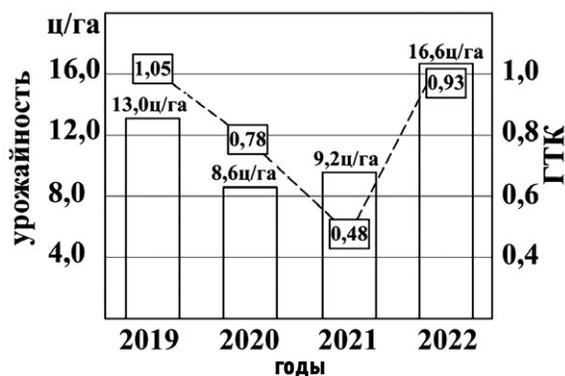


Рис. 1. Гидротермические условия возделывания и урожайность зерновых культур в Челябинской области.

Fig. 1. Hydrothermal conditions of cultivation and yield capacity of grain crops in Chelyabinsk region.

сложившаяся в Челябинской области в 2020 и 2021 гг. указывает на актуальность разработки новой технологии посева сельскохозяйственных культур.

Цель исследований — повышение урожайности зерновых культур в условиях засушливого земледелия за счет разработки технологии и технического средства для прямого посева, позволяющих обеспечить заделку семян в увлажненный слой почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Важным элементом разработанной технологии прямого посева является предварительная оценка глубины залегания почвенного горизонта с оптимальной для роста и развития растений влажностью. Именно на данной глубине должно быть сформировано сошником почвенное ложе, на которое производится укладка семян и минеральных удобрений. В засушливые годы, как было отмечено ранее, глубина залегания слоя увлажненной почвы может составлять 8 см и более. В этой связи, сошник настраивается на глубину, соответствующую глубине залегания увлажненного горизонта, формирует бороздку, на дно которой укладывается посевной материал. Далее посевной материал закрывается слоем почвы толщиной не более 3–5 см заделывающим рабочим органом, обеспечивая, таким образом, фактическую глубину заделки. При этом разность глубины хода сошников и фактической глубины заделки образуют на поле значительную по высоте гребнистость, которая в засушливых условиях выполняет как защитную функцию, укрывая всходы на ранних стадиях вегетации от негативного воздействия ветра, так и влагосберегающую поскольку обеспечивает задержку и аккумуляцию атмосферной влаги. На разработанную технологию получен патент РФ № 2729525 «Способ прямого посева сельскохозяйственных культур» [5].

Описанную технологию может обеспечить только комбинированная посевная секция, состоящая из комплекса рабочих органов, выполняющих разнородные функции. При разработке секции учтены также и специфические условия работы машинно-тракторных агрегатов при посеве по технологии *no-till*, значительно отличающиеся от посева по традиционной и минимальной технологиям [6, 7]. Отличия состоят, во-первых, в том, что рабочие органы посевной машины, взаимодействующие с уплотненной почвой, должны сохранять стабильность при движении для обеспечения постоянной глубины заделки посевного материала, это особенно важно для разрабатываемой технологии, поскольку высев должен производиться только в увлажненный слой почвы. Во-вторых, — мульчирующий слой, препятствующий нормальной работе рабочих органов, за счет того, что ухудшает агротехническую проходимость посевной машины и повышает ее тяговое сопротивление [8, 9]. Исходя из этого, разрабатываемая посевная секция должна выполнять последовательно несколько технологических операций (рис. 2).

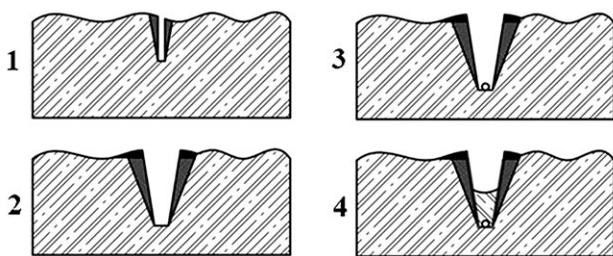


Рис. 2. Операции технологии прямого посева: 1 — вертикальное резание (плоский диск); 2 — формирование бороздки (сошник анкерного типа); 3 — укладка посевного материала на дно бороздки; 4 — прикатывание посевов (индивидуальный прикатывающий каток).

Fig. 2. Phases of the direct sowing technology: 1 — vertical cutting (with a flat disk); 2 — furrow formation (with a hoe coulter); 3 — laying seeding material down on the furrow bottom; 4 — seed rolling (with an individual packing wheel).

Вертикальное резание, в разработанной технологии, выполняется для уменьшения тягового сопротивления идущего по следу сошника, недопущения вовлечения в открываемую бороздку пожнивных остатков, уменьшение явления выноса увлажненной почвы на поверхность. Наиболее подходящим для этих целей рабочим органом является плоский прорезной диск, который выгодно отличается от часто используемых на сеялках по-till рифленых дисков меньшее тяговое сопро-

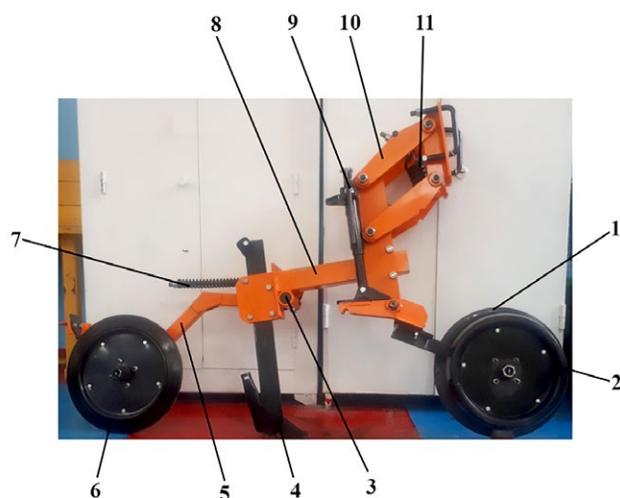


Рис. 3. Посевная секция: 1 — прорезной диск; 2 — опорное колесо; 3 — шарнир; 4 — анкерный сошник; 5 — кронштейн прикатывающего колеса; 6 — каток; 7 — регулировочная пружина прикатывающего колеса; 8 — грядиль; 9 — регулятор глубины; 10 — параллелограммный механизм; 11 — регулировочная пружина секции.

Fig. 3. The sowing section: 1 — a cutting disk; 2 — a supporting wheel; 3 — a joint; 4 — a hoe coulter; 5 — a packing wheel mounting; 6 — a packing wheel; 7 — an adjustment spring of the packing wheel; 8 — a plough beam; 9 — a depth adjuster; 10 — a parallel-link mechanism; 11 — an adjustment spring of the section.

тивление и несклонность к забиванию растительными остатками [10].

Учитывая значительные глубины (более 8 см), на которые предполагается высевать культуры, наиболее подходящим типом сошника для посевной секции является рабочий орган анкерного типа. Как показывают многочисленные исследования, именно анкерный сошник позволяет обеспечить устойчивый по глубине посев [11, 12].

Заделку почвой посевного материала в бороздке необходимо обеспечить адресным прикатывающим катком с обрешеченным ободом V-образного поперечного профиля. Учитывая особенности разработанной технологии, каток должен иметь возможность индивидуальной настройки, для обеспечения необходимого по толщине и плотности слоя почвы над посевным материалом.

Стабильность глубины заделки семян анкерным сошником в увлажненные слои почвы обеспечивается применением параллелограммной подвески и опорного колеса, которые совместно обеспечивают качественное копирование рельефа поверхности почвы. При этом высокая стабильность хода сошника достигается регулированием величины вертикально направленного усилия, оказываемого на опорное колесо, со стороны пружины параллелограммной подвески. Данное усилие подбирается в зависимости от твердости почвы и глубины обработки, обеспечивая, таким образом, стабильность хода анкерного сошника по глубине.

Таким образом, исходя из перечня рабочих органов, необходимых для реализации разработанной технологии прямого посева, предложена следующая конструкция комбинированной секции (рис. 3) для посевного комплекса. Конструкция посевной машины защищена патентом на полезную модель РФ № 179958 [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработан и изготовлен экспериментальный образец комбинированной посевной секции. Главные конструкционные параметры секции определены на основании теоретических исследований [14, 15]. Так, диаметр прорезного диска секции принят равным $D_1 = 0,47$ м исходя из условия обеспечения разрезания слоя почвы на глубину 0,045 м и пожнивных остатков. Диаметр и ширина обода опорного и прикатывающего колес определены исходя из условия обеспечения допустимого и необходимого давления на почву соответственно. Диаметр опорного колеса секции составлял $D_2 = 0,39$ м при ширине обода $b_2 = 0,12$ м, диаметр прикатывающего колеса — $D_3 = 0,45$ м при ширине обода $b_3 = 0,025$ м. Угол установки долота анкерного сошника определен равным $\beta = 45^\circ$, при его ширине $b_d = 0,02$ м. При взаимодействии указанных рабочих органов посевной секции с почвой возникают силы, которые можно представить в виде вертикальных и горизонтальных составляющих

(рис. 4). Горизонтальные составляющие сил определяют величину тягового сопротивления единичной посевной секции:

$$R_c = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (1)$$

где P_1 — тяговое сопротивление прорезного диска, кН; P_2 — тяговое сопротивление опорного колеса, кН; P_3 — тяговое сопротивление прикатывающего катка, кН; P_4 — тяговое сопротивление анкерного сошника, кН.

Вертикальные составляющие сил, действующих на опорное колесо (P_5), прорезной диск (P_6), анкерный сошник (P_7), прикатывающий каток (P_8) не оказывают прямого влияние на величину тягового сопротивления секции, но находятся с ней в определенной корреляционной связи.

Для обоснования конструктивной схемы посевного комплекса и определения тягового класса трактора произведен лабораторный эксперимент с комбинированной посевной секцией в почвенном канале Южно-Уральского ГАУ.

Экспериментально установлено, что значительное влияние на тяговое сопротивление комбинированной секции оказывает глубина хода анкерного сошника и скорость ее перемещения. Так, в интервалах варьирования управляемых факторов скорости перемещения $v_p = 0,6-1,8$ м/с и глубины хода анкерного сошника $a = 0,06-0,12$ м тяговое сопротивление варьируется от 0,34 до 0,89 кН (рис. 5).

Экстраполировав данные применительно к полевым условиям, была установлена величина тягового сопротивления секции $R_c = 0,9-1,5$ кН.

Таким образом, становится возможным теоретически рассчитать тяговое сопротивление посевного комплекса по следующей зависимости:

$$R_{ар} = f_6(G_6 + G_c + G_y) + f_n(G_n + \Delta G) + kabn + \varepsilon abnv^2, \quad (2)$$

где G_6 — конструкционная масса бункера, кН; G_c — вес семян, кН; G_y — вес минеральных удобрений, кН; f_6 — коэффициент сопротивления перекачиванию бункера; G_6 — вес посевного блока, кН; ΔG — часть веса посевного блока, приходящаяся на сопротивление посевных секций, кН; n — количество посевных секций; f_n — коэффициент пропорциональности; ε — коэффициент, характеризующий форму поверхности рабочего органа и свойства почвы, кНс²/м⁴; k — удельное сопротивление почвы, кН/м²; b — ширина зоны рыхления, м.

С учетом реальных условий эксплуатации тяговое сопротивление посевного комплекса, при количестве посевных секций 48 штук составляет 65–85 кН, в зависимости от глубины хода сошников. Таким образом, предполагаемый тяговый класс трактора для разрабатываемой машины — восьмой.

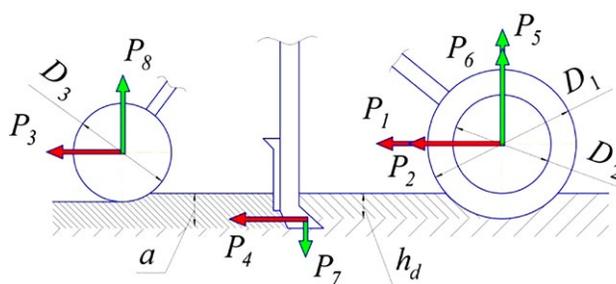


Рис. 4. Составляющие тягового сопротивления посевной секции.
Fig. 4. Components of traction resistance of the sowing section.

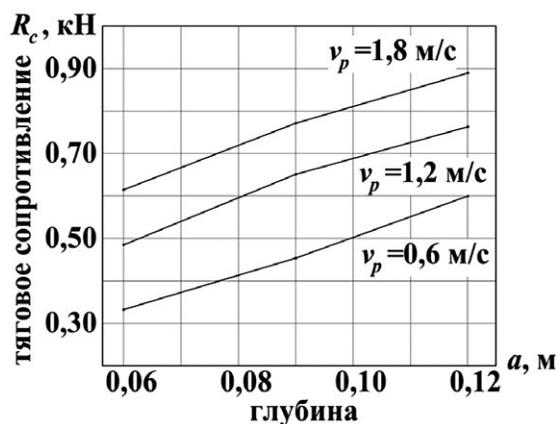


Рис. 5. Закономерности изменения тягового сопротивления посевной секции в зависимости от рабочей скорости, глубины хода сошника и реакции на опорное колесо.

Fig. 5. Curves of traction resistance of the sowing section depending on operational velocity, the hoe coulter operational depth and reaction at the supporting wheel.

Лабораторно-полевые эксперименты проводились с экспериментальным посевным комплексом ПК-12,7 (рис. 6). Ширина междурядий была принята равной 27 см, на основании ранее проведенных исследований [16, 17]. Рабочая ширина захвата посевного комплекса составляет 12,7 м. Комплекс имеет раздельно-агрегатную компоновку, прицепной бункер и пневматическую централизованную высевную систему, эксплуатационная масса машины составляет 21,2 т.

Усредненные показатели, полученные в ходе энергетической оценки агрегата, представлены графически (рис. 7).

Установлено, что увеличение скорости движения агрегата в диапазоне от 1,4 до 2,2 м/с вызывает рост тягового сопротивления с 68,5 до 87,7 кН, при этом погектарный расход топлива несколько снижается с 7,4 до 6,9 кг/га за счет увеличения производительности агрегата, что можно считать основанием для выбора эксплуатационного режима работы (рис. 8). Буксование движителей трактора не превышает 11,4%, что укладывается в агротехнический допуск. Расхождение теоретической и экспериментальной данных по величине тягового



Рис. 6. Машинно-тракторный агрегат в составе с экспериментальным посевным комплексом ПК-12,7 при лабораторно-полевых экспериментах.

Fig. 6. The machine-tractor unit coupled with the PK-12.7 experimental sowing facility at the laboratory-field experiments.

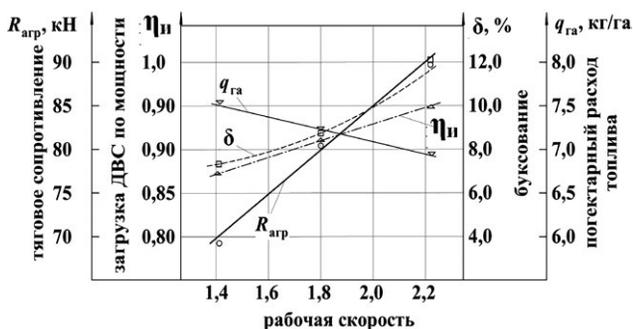


Рис. 7. Зависимость тягового сопротивления R_{agr} , коэффициента использования мощности ДВС $\eta_{и}$, буксования δ , погектарного расхода топлива $q_{га}$ от скорости движения агрегата v_p .

Fig. 7. Dependence of the traction resistance R_{agr} , the ICE power usage coefficient $\eta_{и}$, the slipping δ and the specific fuel consumption per hectare $q_{га}$ on the unit motion velocity v_p .

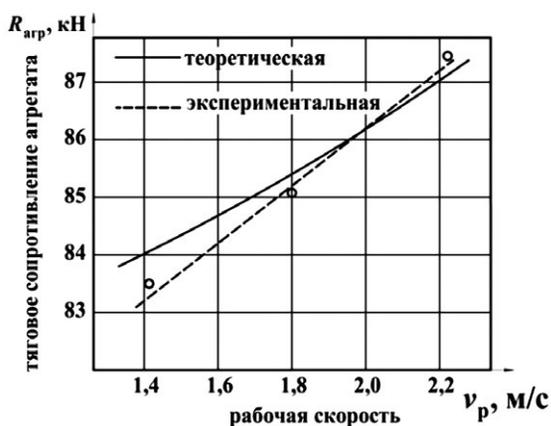


Рис. 8. Зависимость тягового сопротивления R_{agr} от рабочей скорости.

Fig. 8. Dependence of the traction resistance R_{agr} on the operational velocity.

сопротивления не превышает 4%, что свидетельствует о достаточном уровне сходимости и достоверности результатов теоретических исследований (рис. 9). Следует отметить, что по величине тягового сопротивления экспериментальный посевной комплекс близок к машинам подобного типа, таких, например, как Bourgault 3330 или Amazone Primera DMC 12001.

Для оценки эффективности разработанной технологии прямого посева и посевного комплекса с комбинированными секциями проведен сравнительный агротехнический полевой опыт. В опыте использовался экспериментальный посевной комплекс ПК-12,7 и многомашинный посевной агрегат с пятью стерневыми сеялками СКП-2,1. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Агротехнические показатели при сравнительном эксперименте по оценке технологий прямого посева

Table 1. Agrotechnical indicators at the comparative experiment on assessment of the direct sowing technologies

Показатель	Значение	
	ПК-12,7	СКП-2,1
Норма высева семян, кг/га	130	
Культура	пшеница	
Сорт	Омская-36	
Глубина обработки почвы, мм		
– установочная глубина, мм	80	50
– фактическая средняя глубина, мм	84,1	54,0
– коэффициент вариации, %	17,8	24,1
Характеристика всходов		
Количество всходов, шт./м ²	284	206
Полевая всхожесть, %	84,5	62,8
Количество стеблей, шт./м ²	578	474
Коэффициент кущения	2,6	2,1
Биомасса всходов, г/м ²	482	388
Характеристика растений перед уборкой		
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	305	298
Количество зерен в колосе, шт.	30,7	19
Масса 1000 зерен, г	28,3	24,1
Урожайность при норме посев, ц/га	26,5	17,3

На основе данных полевого опыта можно резюмировать, что посев экспериментальным посевным комплексом ПК-12,7 позволяет повысить на 21,7% полевую всхожесть в сравнении с базовой машиной СКП-2,1. Коэффициент кущения при этом составляет 2,6. Величина урожайности при норме посева 130 кг/га по новой технологии выше, чем по базовой, на 34,7%. Высокая в сравнении с базовой технологией урожайность



Рис. 9. Всходы при посеве в борозду экспериментальным посевным комплексом ПК-12,7.
Fig. 9. The seedlings after furrow sowing with the PK-12.7 experimental sowing facility.

обусловлена более качественной заделкой семян по глубине, при этом следует также отметить, что посев по разработанной технологии в борозду определенно оказывает положительный эффект на урожайность (см. рис. 9).

ВЫВОДЫ

Разработанная технология прямого посева, позволяет повысить полевую всхожесть и урожайность зерновых культур в условиях засушливого земледелия. Предложена конструкция комбинированной посевной секции и посевного комплекса, обеспечивающего посев семян в борозду.

Установлено, что при увеличении скорости с 0,6 до 1,8 м/с и глубины хода анкерного сошника с 6 до 12 см тяговое сопротивление секции возрастает с 0,34 до 0,89 кН.

С учетом проведенных исследований определены предполагаемые тяговые классы тракторов для работы с сеялками, на которых применяются разработанные посевные секции. Так для работы с посевным комплексом при ширине захвата 12 м наиболее предпочтителен трактор с тяговым классом 80 кН.

Проведенные лабораторно-полевые эксперименты с экспериментальным посевным комплексом ПК-12,7 показали его высокую эффективность. Основные агротехнические показатели его работы соответствуют требованиям.

В ходе сравнительных полевых опытов с экспериментальным посевным комплексом получена урожайность 26,5 ц/га, что можно считать относительно высоким показателем в условиях дефицита влаги.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.Д. Шепелёв — сбор статистической информации, планирование и реализация

лабораторно-полевых экспериментов; М.В. Пятаев — обзор литературы, планирование и реализация лабораторного эксперимента; Е.Н. Кравченко — планирование и реализация лабораторно-полевых экспериментов. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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

Источник финансирования. Исследование и подготовка публикации проведены при поддержке ООО «Челябинское монтажно-наладочное управление «Спецэлеватормеломонтаж».

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. S.D. Shepelev — collection of statistical information, planning and conducting the laboratory-field experiments; M.V. Pyataev — literature review, planning and conducting the laboratory experiment; E.N. Kravchenko — planning and conducting the laboratory-field experiments. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. The research and preparation of the publication were supported by Chelyabinsk Installation-Setup Department Spetsselevatormelmontazh LLC.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шепелёв С.Д., Кравченко Е.Н., Теличкина Н.А., и др. Технология прямого посева зерновых культур // АПК России. 2021. Т. 28. № 3. С. 380–384. EDN: GGEWNR
2. Кравченко Е.Н., Шепелёв С.Д., Окунев Г.А. Технология посева в условиях рискованного земледелия // Сельский механизатор. 2021. № 9. С. 46–47. EDN: ZDAXQP
3. Астафьев В.Л., Гайфуллин Г.З., Гридин Н.Ф., и др. Техническое обеспечение технологий возделывания зерновых культур в системе сберегающего земледелия (рекомендации). Костанай, 2011.
4. Федоренко В.Ф., Петухов Д.А., Свиридова С.А., и др. Эффективность применения прямого посева и минимальной обработки почвы при возделывании кукурузы на зерно // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 14–21. EDN: LNYDQY doi: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-14-21
5. Патент РФ на изобретение № 2729525 / 07.08.2020. Бюл. № 22. Шепелёв С.Д., Кравченко Е.Н., Кравченко И.Н., Теличкина Н.А. Способ прямого посева сельскохозяйственных культур. EDN: CPPPPL
6. Рахимов Р.С., Рахимов И.Р., Фетисов Е.О. Обоснование конструктивной схемы и параметров универсальной посевной секции // АПК России. 2020. Т. 27. № 5. С. 785–796. EDN: EFDDLT
7. Адуов М.А., Капов С.Н., Нукушева С.А. К вопросу разработки сеялки прямого посева для засушливых регионов Северного Казахстана // Техника и оборудование для села. 2018. № 3. С. 24–26. EDN: YUYUC
8. Беспамятнова Н.М., Беспамятнов Ю.А., Колинко А.А. Характеристика новаций рабочих органов для посева в технологии безотвальной обработки почвы и посева // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 9. С. 31–36. EDN: ZFTSOD doi: 10.17816/0321-4443-66322
9. Мишуров Н.П., Щеголихина Т.А., Федоренко В.Ф., и др. Сельскохозяйственная техника. Посевные и посадочные машины: каталог. М.: Росинформагротех, 2022.
10. Shepelev S., Pyataev M., Kravchenko E. Study of the tractive resistance of the no-till planting section // FME Transactions. 2022. Vol. 50. No. 3. P. 502-511. doi: 10.5937/fme2203502S
11. Кем А.А. Сеялка с сошниками для посева зерновых и разноразмерного внесения минеральных удобрений // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 1. С. 16-20. EDN: ZAMXSP doi: 10.31992/0321-4443-2019-1-16-20
12. Патент РФ на полезную модель № 179958 / 29.05.2018. Бюл. № 6. Шепелёв С.Д., Кравченко И.Н., Кравченко Е.Н. Широкозахватная стерневая сеялка для посева сельскохозяйственных культур. EDN: DITORR
13. Шепелёв С. Д., Пятаев М. В., Кравченко Е. Н. Анализ сил, действующих на посевную секцию сеялки ПК-12,7. В кн.: Актуальные вопросы агроинженерных и агрономических наук : материалы Национальной (Всероссийской) научной конференции Института агроинженерии, Института агроэкологии. Челябинск, 2021. Дата обращения: 21.10.2023. Режим доступа: <https://sursau.ru/upload/iblock/614/4sts6kp9ihtjmoitul4xghnsi3k635ru/Том%20%20ЭМТП%20%20%20Агроэкология%20Для%20Библиотеки.pdf>
14. Шепелёв С. Д., Кравченко Е. Н., Теличкина Н. А. Технология прямого посева анкерными сошниками. В кн.: Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции в рамках XXII Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш» / Донской государственный технический университет, Аграрный научный центр «Донской». Ростов-на-Дону, 2019. Дата обращения: 21.10.2023. Режим доступа: <https://interagro.donstu.com/статьи-2019/>
15. Shepelev S.D., Plaksin A.M., Troyanovskaya I.P., et al. Theoretical and experimental studies of the tractive resistance of the sowing complex for the no-till technology. Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2022). In: Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME) Conference series link(s): ICIE: International Conference on Industrial Engineering. 2022. P. 341–350. doi: 10.1007/978-3-031-14125-6_34
16. Кокорин А.Ф., Хлызов Н.Т., Шепелёв С.Д., и др. Результаты испытаний посевного комплекса ПК – 12,7 для no-till технологии. В кн.: Научное обеспечение реализации государственных программ АПК и сельских территорий. Материалы международной научно-практической конференции. Апрель 20–21, 2017 Челябинск. Дата обращения: 21.10.2023. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000016_000021_CHONB-RU_Челябинская+ОУНБ_IBIS_40.72_0-753-480400/

REFERENCES

1. Shepelev SD, Kravchenko EN, Telichkina NA, et al. Direct sowing technology for grain crops. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2021;28(3):380–384. (In Russ). EDN: GGEWNR
2. Kravchenko EN, Shepelev SD, Okunev GA. Technology of sowing in risky farming. *Selskiy Mechanizator*. 2021;9:46–47. (In Russ). EDN: ZDAXQP
3. Astafyev VL, Gaifullin GZ, Gridin NF, et al. *Technicheskoye obespecheniye technologiy vozdeleyvaniya zernovykh kultur v sisteme sberegayushchego zemledeliya (rekomentazii)*. Kostanai, 2011. (In Russ).
4. Fedorenko VF, Petukhov DA, Sviridova SA, et al. The effectiveness of no-till sowing and minimal tillage in the cultivation of corn for grain. *Sel'skhozhozajstvennyye mashiny i tehnologii*. 2022;16(2):14–21. (In Russ). EDN: LNYDQY doi: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-14-21
5. Patent RUS № 2729525/ 07.08.20. Byul. №22. Shepelev SD, Kravchenko EN, Kravchenko IN, Telichkina NA. *Sposob pryamogo poseva sel'skhozhozajstvennykh kul'tur*. (In Russ). EDN: CPPPPL
6. Rakhimov RS, Rakhimov IR, Fetisov EO. Justifying the design scheme and parameters of the universal sowing unit. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2020;27(5):758–796. (In Russ). EDN: EFDDLT
7. Aduov MA, Kapov SN, Nukusheva SA. To the issue of development of a direct seeding drill machine for dry regions of North Kazakhstan. *Machinery and Equipment for Farming*. 2018;3:24–26. (In Russ). EDN: YUYUC
8. Bepamyatnova NM, Bepamyatnov YUA, Kolinko AA. The characteristic of innovations of working bodies for sowing in technology of soil-free tillage and sowing. *Tractors and*

agricultural machinery. 2017;9:31–36. (In Russ). EDN: ZFTSOD
doi: 10.17816/0321-4443-66322

9. Mishurov NP, Shchegolikhina TA, Fedorenko VF, et al. Agricultural machinery. seeding and planting machines. Moscow: Rosinformagrotekh; 2022. (In Russ).

10. Shepelev S, Pyataev M, Kravchenko E. Study of the tractive resistance of the no-till planting section. *FME Transactions*. 2022;50(3):502–511. doi: 10.5937/fme2203502S

11. Kem AA. Seeder with openers for sowing grain and multi-level application of mineral fertilizers. *Tractors and agricultural machinery*. 2019;1:16–20. (In Russ). EDN: ZAMXSP
doi: 10.31992/0321-4443-2019-1-16-20

12. Patent RUS № 179958 / 29.05.18. Byul. № 6. Shepelev SD, Kravchenko IN, Kravchenko EN. *Shirokozahvatnaya sternevaya seyalka dlya poseva sel'skhozoyajstvennykh kul'tur*. (In Russ). EDN: DITORR

13. Shepelyov SD, Pyataev MV, Kravchenko EN. Analiz sil, deistvuyushchikh na posevnyuyu sektsiyu seyalki PK-12,7 In: *Aktual'nye voprosy agroinzhenernykh i agronomicheskikh nauk : materialy Natsional'noi (Vserossiiskoi) nauchnoi konferentsii Instituta agroinzhenerii, Instituta agroekologii*. Chelyabinsk, 2021. Accessed: 21.10.2023. Available from: <https://sursau.ru/upload/iblock/614/4sts6kp9ihtjmoitul4xghnsi3k635ru/Том%202.%20ЭМТП%20%20%20Агрэкологія%20Для%20бібліотеки.pdf> (In Russ).

14. Shepelev SD, Kravchenko EN, Telichkina NA. Technology of direct sowing by anchor coulters. In: *Sostoyanie i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa : sbornik nauchnykh trudov XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii v ramkakh XXII Agropromyshlennogo foruma yuga Rossii i vystavki «Interagromash» / Donskoi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, Agrarnyi nauchnyi tsentr «Donskoi»*. Rostov-on-Don; 2019. Accessed: 21.10.2023. Available from: <https://interagro.donstu.com/статьи-2019/> (In Russ).

15. Shepelev SD, Plaksin AM, Troyanovskaya IP, et al. Theoretical and experimental studies of the tractive resistance of the sowing complex for the no-till technology. Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2022). In: *Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME) Conference series* link(s): ICIE: International Conference on Industrial Engineering. 2022. doi: 10.1007/978-3-031-14125-6_34

16. Kokorin AF, Khlyzov NT, Shepelev SD, et al. Results of tests of sowing complex PK-12,7 for no-till technology. In: *Nauchnoe obespechenie realizatsii gosudarstvennykh programm APK i sel'skikh territorii. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. April 20–21, 2017*; Lesnikovo; 2017. Accessed: 21.10.2023. Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_29017205_67018716.pdf (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* Пятаев Максим Вячеславович,

канд. техн. наук,
доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка,
и технология и механизация животноводства» Института
агроинженерии;
адрес: Российская Федерация, 454080, Челябинск,
пр-т Ленина, д. 75;
ORCID: 0000-0001-6570-5384;
eLibrary SPIN: 2502-0737;
e-mail: 555maxim@mail.ru

Шепелёв Сергей Дмитриевич,

профессор, д-р техн. наук,
проректор по научной и инновационной работе;
ORCID: 0000-0003-2578-2005;
eLibrary SPIN: 4848-4782;
e-mail: nich@sursau.ru

Кравченко Евгений Николаевич,

канд. техн. наук,
инженер Института агроинженерии;
ORCID: 0009-0006-1511-1530;
e-mail: 178ru@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Maxim V. Pyataev,

Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Operation of the Machine
and Tractor Fleet, Technology and Mechanization of Livestock
Department of the Agroengineering Institute;
address: 75 Lenina avenue, 454080 Chelyabinsk,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0001-6570-5384;
eLibrary SPIN: 2502-0737;
e-mail: 555maxim@mail.ru

Sergey D. Shepelev,

Professor, Dr. Sci. (Engineering),
Vice-Rector for Research and Innovation;
ORCID: 0000-0003-2578-2005;
eLibrary SPIN: 4848-4782;
e-mail: nich@sursau.ru

Evgeniy N. Kravchenko,

Cand. Sci. (Engineering),
Engineer of the Agroengineering Institute;
ORCID: 0009-0006-1511-1530;
e-mail: 178ru@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author