

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ И СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ НАРЕЗКИ БОРОЗД В СИСТЕМЕ ПОСЕВА КУКУРУЗЫ

ЛЯН ЭНЬЦЯН, КОНГ ЦЗЯЛИ, В. С. АСТАХОВ, Г. О. ИВАНЧИКОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 18.03.2026)

Кукуруза является одной из наиболее распространенных культур в мире, культивируемой практически во всех климатических зонах – от тропиков до умеренных широт. Ее производство играет ключевую роль в глобальной продовольственной безопасности, обеспечивая корма для животных, сырье для биоэтанола и пищевые продукты для миллиардов людей. В условиях изменения климата и роста населения, эффективные посевные технологии становятся критическими для повышения урожайности, минимизации потерь семян и оптимизации использования ресурсов. Посевная машина для кукурузы представляет собой специализированную сельскохозяйственную технику, предназначенную для точного посева семян зерновых культур. С помощью посевного устройства она обеспечивает соблюдение агротехнических норм: нормативную глубину заделки семян (обычно 4–6 см, в зависимости от почвы и сорта), ширину междурядий (60–75 см для кукурузы) и расстояние между растениями (15–25 см), что способствует равномерной всхожести, снижает конкуренцию и повышает устойчивость к засухе. Современные модели интегрируют гидравлические системы, GPS-навигацию и датчики для мониторинга почвенных условий, особенно в высокоскоростных плантерах, где скорость посева достигает 12–16 км/ч.

Устройство для нарезки борозд является ключевым элементом кукурузной посевной машины, определяющим качество борозды, стабильность глубины и минимальное нарушение почвы. Оно может быть дисковым, ножевым или бионическим, чтобы снизить сопротивление почвы и улучшить структуру траншеи. В настоящей статье подробно освещены современные исследования и тенденции развития устройств для нарезки борозд в системе посева кукурузы. Согласно недавним обзорам, фокус смещается на бионику и автоматизацию: например, бионические открыватели борозд, имитирующие формы животных, снижают сопротивление на 20–30 % и улучшают мониторинг глубины в реальном времени. В Китае, ведущем производителе кукурузы, разрабатываются системы переменной нормы посева и высокоскоростные плантеры с пневматическими дозаторами, адаптированные к локальным почвам. Исследования включают моделирование с использованием дискретного элемента для оптимизации усилий и энергопотребления, а также сравнение типов открывателей в полевых условиях, показывающее лучшие результаты для безотвальной обработки почвы.

Ключевые слова: кукуруза; посевная система; устройство; бороздодел; почва; рабочее сопротивление.

Corn is one of the most widely grown crops in the world, cultivated in virtually every climate zone, from the tropics to temperate latitudes. Its production plays a key role in global food security, providing animal feed, bioethanol feedstock, and food for billions of people. In the face of climate change and population growth, efficient seeding technologies are becoming critical for increasing yields, minimizing seed loss, and optimizing resource use. A corn seed drill is a specialized piece of agricultural equipment designed for the precise sowing of grain crop seeds. Using a seed drill, it ensures compliance with agricultural standards: standard seed placement depth (usually 4–6 cm, depending on soil and variety), row spacing (60–75 cm for corn), and interplant spacing (15–25 cm), which promotes uniform emergence, reduces competition, and increases drought tolerance. Modern models integrate hydraulic systems, GPS navigation, and sensors to monitor soil conditions, especially in high-speed planters, where seeding speeds reach 12–16 km/h.

The furrow opener is a key component of a corn seeding machine, determining furrow quality, depth consistency, and minimal soil disturbance. It can be disc, knife, or bionic, designed to reduce soil resistance and improve trench structure. This article provides a detailed overview of current research and development trends in furrow openers for corn seeding systems. Recent reviews indicate a shift toward bionics and automation: for example, bionic furrow openers, which mimic animal shapes, reduce resistance by 20–30 % and improve real-time depth monitoring. In China, a leading corn producer, variable-rate seeding systems and high-speed planters with pneumatic meters, adapted to local soils, are being developed. The research includes discrete-element modeling to optimize effort and energy consumption, as well as a field comparison of opener types, demonstrating superior results for no-tillage.

Key words: corn; seeding system; device; furrower; soil; working resistance.

Введение

На фоне массового старения населения, значительной миграции сельскохозяйственной рабочей силы, автоматизации производства и высокого уровня потерь при посеве, развитие высокоэффективной техники точного земледелия стало важной частью работы по реализации стратегии возрождения сельских территорий страны. Точная технология посева кукурузы является одной из ключевых технологий модернизации и механизации сельского хозяйства. Исследование, развитие и внедрение этой технологии способствуют снижению трудоемкости для сельхозпроизводителей, повышению эффективности использования удобрений, увеличению урожайности и качества кукурузы, а также обеспечивают точное посевное производство на всех этапах выращивания.

Посев – один из основных этапов производства сельскохозяйственных культур. Наша страна является крупнейшей развивающейся аграрной страной в мире, а также одним из крупнейших мировых рынков сельскохозяйственной техники. В последние годы, с ускорением модернизации сельского хо-

зяйства и всесторонним продвижением стратегии развития сельских территорий, рынок посевных машин в нашей стране демонстрирует тенденцию к быстрому росту.

Основная функция бороздочной машины заключается в рыхлении почвы плугом для образования посевных борозд, по которым после попадания семян внутрь обеспечивается качественное покрытие посевной борозды. Таким образом, бороздодел напрямую влияет на качество посевных борозд, а параметры бороздодела оказывают важное влияние на работу посевной машины, качество посева и другие показатели. Множество отечественных и зарубежных ученых провели обширные исследования факторов, влияющих на сопротивление работы бороздоделов, уровень возмущения почвы, качество структуры посевного ложа и густоту посева.

Основная часть

Бороздочные машины по конструкции делятся на два типа – мобильные и скользящие бороздоделы. Мобильные бороздочные машины по форме подразделяются на сердцевинные, скользящие лезвия, остроугольные, дисковые бороздоделы ротационной обработки и совковые бороздоделы. Данная машина обладает хорошими показателями вскрытия почвы, удобным проникновением в почву, простой технологией изготовления и низкой стоимостью, что делает её наиболее подходящей для средних и малых безотвальных посевных машин.

Цзя Хунлей и др. [1] в связи с проблемой чрезмерного сопротивления бороздочной машины для обработки центрального стержня разработали бороздочную машину с имитацией зуба барсука. Эта бороздочная машина воспроизводит низкое сопротивление проникновения, характерное для зуба барсука. Полевые испытания показали, что её способность противостоять сопротивлению при образовании борозды снизилась примерно на 8 % по сравнению с обычной бороздочной машиной со стержневым корпусом. Яо Цзюань и др. [2] на основе рифлёной формы и смазочных характеристик стержневого корпуса разработали бионический композитный бороздодел. Результаты испытаний показали значительное снижение сопротивления при работе машины и силы адгезии.

При работе бороздочной машины с подвижным лезвием режущая часть врежется в почвенный слой, при этом обе стороны почвенного слоя под давлением формируют канавку для семян. Площадь нарушения почвы очень мала, форма канавки достаточно ровная, при этом не происходит значительного смешивания сухого и влажного почвенных слоев. Однако из-за использования тупого угла резания сопротивление при работе велико, дно канавки легко уплотняется, что негативно сказывается на развитии корневой системы растений, поэтому данное устройство преимущественно применяется в культиваторах. Для повышения рабочих характеристик бороздочной машины с подвижным лезвием Гу Яо Цюань и соавторы [3] оптимизировали конструкцию устройства. Исследования показали, что при угле скользящего резания в диапазоне 35–55° достигается более эффективный результат полевых работ.

Острый угол бороздодела обеспечивает высокую способность к резанию почвы, легко входит в почву и оказывает малое сопротивление при формировании борозды. Однако при работе в поле он легко обвивается соломой и сорняками, поэтому не подходит для полей с большим количеством сорняков и соломистого покрова перед посевом. Ван Цзюнь и соавторы [4] разработали бороздодел с острым углом и длинными крыльями, что решило проблему забивания почвой и появления пустых рядков при нарезке борозд, а также повысило стабильность глубины борозд при отсутствии явных засоров.

Дисковый бороздодел ротационной машины приводится в движение трактором и выполняет операцию нарезки борозд. Обладает высокой способностью удалять пожнивные остатки и сорняки, а также хорошими показателями рыхления почвы. По сравнению с другими бороздоделами, его конструкция более сложная, требует установки соответствующих силовых приводов, энергозатраты высоки, в процессе работы почва разбрызгивается, сухая и влажная почва легко смешиваются, что ухудшает сохранение влаги почвой.

Лопастной бороздодел требует для работы использования веса и тягового усилия всей машины, имеет малый угол вхождения, легко входит в почву, склонен к обмотке и забиванию, низкая стабильность работы, плохие показатели удержания влаги в почве. Яо Цзунлу и др. [5] проанализировали влияние параметров конструкции лопастного бороздодела на сопротивление прямолинейному движению при работе. На основании результатов испытаний почвенного слоя в борозде исследование показало, что при наличии боковых крыльев бороздодела и переднего ножа для борозд угол входа бороздочной машины в почвенный зазор составляет 5°, что обеспечивает минимальное сопротивление почвенного слоя в направлении движения.

В процессе работы бороздочная машина часто сталкивается с высокой силой сопротивления при продвижении и значительным нарушением структуры почвы. Айкинс Коджо Атта и др. [6] разработали

бороздодел с узкой точечной конструкцией. Испытания проводились при рабочей глубине 0,1 м и рабочей скорости 8000 м/ч. Результаты показали, что при угле наклона бокового лемеха машины, превышающем 90 °, показатели нарушения почвенного слоя начинают снижаться, а сопротивление почвенного слоя в направлении движения значительно возрастает. Снижение высоты лемеха и угла его наклона вперед способствует уменьшению сопротивления движению и нарушения структуры почвы.

Аили Хасиму и др. [7] сравнили три различных конструкции бороздоделов (мотыгоподобный, крыловидный и черпаковый), решив проблему чрезмерного скопления почвы на гребне и недостаточного количества почвы в обратном слое, что ведет к избыточному покрытию семян сверху. Исследования показывают, что мотыгоподобный бороздодел оказывает минимальное влияние на накопление почвы у семян, при этом его стабильность по глубине борозды и сопротивлению движению превосходит два других типа бороздоделов.

Сефа Альтикат и др. [8] испытали три типа бороздоделочных машин (мотыгоподобную, дисковую и крыловидную), результаты показали, что при увеличении глубины борозды возрастает сопротивление работе посевной машины. Ван Цинцзе и др. [9] установили, что объем нарушения почвы может быть уменьшен на 15–25 %, что способствует сохранению пахотного слоя. По сравнению с острым угловым бороздоделом снизилось сопротивление копанию, а расход топлива на единицу площади работ уменьшился. Цяо Цзянвэй и др. [10] разработали бороздоделочную машину с одним диском и функцией быстрой регулировки, позволяющей своевременно изменять угол резания диска и глубину его погружения в зависимости от требований работы.

Чжуан Цзянь и др. [11] спроектировали дисковую бороздоделочную машину со скользящим ножевым пазом. Результаты испытаний показали, что по сравнению с обычной однодисковой бороздоделочной машиной данный бороздодел обладает повышенной проникающей способностью в почву и улучшенной способностью разрушать пожнивные остатки. Для исследования влияния угла диска и наклона на сопротивление при работе, Mehmet-Zahid-Malasli и др. [12] установили, что при углах диска от 5 ° до 15 ° и наклонах диска машины от 7,5 ° до 10 ° сопротивление почвенного слоя перед машиной при прохождении по борозде минимально. В данной посевной машине используется конструкция с дисковым бороздоделом.

Ahmad Fiaz и соавторы [13] оптимизировали параметры диска бороздодела: при глубине борозды 90 мм и диаметре диска 450 мм дисковый бороздодел для риса показывает наивысшую эффективность резки остатков стеблей. При работе бороздоделочной машины почва легко прилипает к поверхности, что ухудшает качество нарезки борозд и снижает сопротивляемость машины к нарезке борозд. Сюй Вэйлян и др. [14] разработали биоимитирующий сцепленный двойной дисковый бороздодел для решения данной проблемы, результаты моделирования и испытаний показали, что по сравнению с обычным двойным дисковым бороздоделом сопротивление уменьшено.

Двойной дисковый бороздодел при полевых работах особенно подвержен таким проблемам, как трудности при нарезке борозд и серьезное засорение почвы. Ван Чао и др. [15] разработали асимметричный двойной дисковый бороздодел с большим и малым диском, как показано на рисунке 1. Моделирование и полевые испытания подтвердили хорошие рабочие характеристики данной бороздоделочной машины. Во время посевных работ машина склонна к раскачиванию. Чжао Яньчжун и др. [16] разработали двойной дугообразный бороздодел с прямой и наклонной смещенной структурой, как показано на рис. 2. Полевые испытания показали, что качество борозды значительно превосходит обычную двойную дисковую бороздоделочную машину, обеспечивая хороший эффект бороздования.



Рис. 1. Несимметричный двухдисковый маркер



Рис. 2. Двухдуговой открывающий канаву прибор

Коллинз и Фоулер и др. [17] провели углублённое исследование зависимости рабочего сопротивления от скорости движения и глубины бороздодела, а также оптимизировали структурные параметры бороздодела. Результаты показали, что существует взаимосвязь между скоростью движения, глубиной почвенного слоя и рабочим сопротивлением. Вамероли и др. [18] установили, что при работе ширококрылым бороздоделом почва лучше смешивается с растительными остатками, глубина борозды равномерна, а качество посевного ложа выше.

Для изучения влияния конструктивных параметров бороздоделочной машины на нарушение почвы, S. Olhjou и соавторы [19–21] рассматривали угол наклона бороздодела, форму лопасти и форму рукоятки в качестве экспериментальных факторов, используя 10-мм PVC-трекеры, размещённые в почве. По изменениям трекеров в направлении движения почвы, по горизонтали и по вертикальной поверхности был рассчитан коэффициент нарушения почвы. Результаты показали, что с уменьшением угла бороздодела коэффициент нарушения почвы снижается.

Заключение

В данной статье подробно изложено состояние исследований и тенденции развития бороздоделов в системах посева кукурузы с позиций конструкционного проектирования и экспериментальных исследований, а также проведён анализ существующих проблем в текущих исследованиях. Представленный материал имеет важное методологическое значение для разработки и проектирования бороздоделов в кукурузных посевных системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биомиметический дизайн и испытания сошника с насадкой из твердого сплава / Цзя Хунлей, Мэн Фаньхао, Лю Лицзин [и др.] // Транзакции Китайского общества сельскохозяйственной техники. – 2020. – № 51(04):44–49+77.
2. Яо Цзююань. Оптимизационное исследование биомиметического сошника на основе рельефной поверхности смазывающего тела дождевого червя / Яо Цзююань. – Чанчунь : Цзилиньский университет, 2019.
3. Конструкция и испытания скользящего ножевого сошника / Гу Яоцюань, Цзя Хунлей, Го Хуэй [и др.] // Транзакции Китайского общества сельскохозяйственной техники. – 2013. – 44(02):38–42.
4. Исследование сошника с острым углом и длинным крылом / Ван Цзюньцэн, Сун Вэй, Ван Хуцун [и др.] // Исследования по сельскохозяйственной механизации. – 2021. – 43(11):64–70.
5. Влияние конструкций сошников для нулевой обработки почвы на сопротивление почвы / Яо Цзунлу, Гао Хуаньвэнь, Ли Хунвэнь [и др.] // Исследования по сельскохозяйственной механизации. – 2009. – 31(07):30–34.
6. Atta A. K., Barr J. B., Antille D. L. Анализ влияния геометрии изогнутого сошника на производительность в связанной почве с использованием метода дискретных элементов. – Биосистемная инженерия. – 2021. – 209:106–124.
7. Hasimu A., Chen Y. Нарушение почвы и сила тяги выбранного сошника. Почвоведение и исследования обработки почвы, 140:48–54.
8. Altikat S., Celik A., Gozubuyuk Z. Влияние различных сеялок для нулевой обработки почвы и условий стерни на посевные качества и всхожесть семян вики яровой. Почвоведение и исследования обработки почвы, 2013, 126:72–77.
9. Проектирование и испытания клиновидного сошника для нулевого посева / Ван Цинцзе, Яо Цзунлу, Гао Хуаньвэнь [и др.] // Журнал машиностроения. – 2008(09):177–182.
10. Цяо Цзяньвэй. Быстрорегулируемый однодисковый сошник / Цяо Цзяньвэй // Сельскохозяйственные машины. – 2021. – № 4. – С. 80–81.
11. Конструкция и испытания дискового сошника с вырезом и скользящим лезвием / Чжуан Цзянь, Цзя Хунлэй, Ма Юньхай [и др.] // Транзакции Китайского общества сельскохозяйственной техники. – 2013, 44(S1):83–88.
12. Malasli M. Z., Celik A. Влияние угла диска и угла наклона на силы, действующие на однодисковый сошник сеялки для нулевой обработки почвы. Почвоведение и исследования обработки почвы, 2019, 194:104304–104304.
13. Fiaz A., Ding W. M., Ding Q. S. Силы и производительность резания соломы двухдискового сошника на нетронутой почве рисового поля / Плос Уан. – 2015. – 10(3): e0119648.
14. Сюэ Вэйлян. Проектирование и исследование биомиметического дискового сошника с двойным снижением сопротивления / Сюэ Вэйлян. – Чанчунь : Цзилиньский университет, 2017.
15. Проектирование и испытания асимметричного устройства для нарезки борозд с большими и малыми дисками / Ван Чао, Лю Цунцзин, Ли Хунвэнь [и др.] // Журнал сельскохозяйственной инженерии. – 2018. – 34(18): 28–36.
16. Проектирование и испытания компонентов для посева с послойным внесением удобрений на сеялке для нулевой обработки почвы / Чжао Яньчжун, Ван Юн, Гун Чжэньпин [и др.] // Транзакции Китайского общества сельскохозяйственной техники. – 2021. – 52(08): 40–50.
17. Collins B A, Fowler D B. Влияние характеристик почвы, глубины посева, рабочей скорости и конструкции сошника на силу тяги при прямом посеве. Почвоведение и исследования обработки почвы. – 1996. – 39(3): 199–211.
18. Vamerali T, Bertocco M, Sartori L. 2006. Влияние нового широкозахватного сошника сеялки для нулевой обработки почвы на свойства семенного ложа и укоренение кукурузы (*Zea mays*, L.): сравнение с двухдисковым сошником. – Почвоведение и исследования обработки почвы. – 89(2): 196–209.
19. Solhjou A, Fielke J M, Desbiolles J M A. 2012. Перемещение почвы узкими сошниками с различными углами наклона. – Биосистемная инженерия. – 112(1): 65–73.
20. Solhjou A, Fielke J M, Desbiolles J M A, Saunders C. Перемещение почвы узкими сошниками с различной геометрией изогнутой ноги. – Биосистемная инженерия. – 127: 41–49.
21. Solhjou A, Desbiolles J M A, Fielke J M. 2013. Перемещение почвы узкими сошниками с различной геометрией лицевой части лопасти. – Биосистемная инженерия. – 114(3): 259–266.