

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО КОМПЛЕКТА НОЖЕЙ ДЛЯ ПОСЕВА КУКУРУЗЫ С ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ДОЗИРОВАНИЯ

КОНГ ЦЗЯЛИ, ЛЯН ЭНЬЦЯН, 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 14.01.2026)

В сельскохозяйственной отрасли проблемы низкой всхожести семян, слабой адаптивности оборудования к различным почвам и высокого энергопотребления традиционных сеялок остаются актуальными, влияя на общую эффективность производства. Предложена инновационная система на базе пневматического точного посева, которая комплексно решает эти вызовы, обеспечивая более точный и щадящий процесс посева. Основой системы стала интеграция горизонтального распределителя семян, разработанного специалистами Украинской НААН, с двухкамерной конструкцией, минимизирующей механическое повреждение семян до уровня  $\leq 1,2$  %. Это позволяет сохранять целостность посевного материала, что критично для повышения качества всходов. Дополнительно внедрен трехступенчатый пневмоалгоритм на базе микроконтроллера STM32 и программируемого логического контроллера PLC, который оптимизирует поток воздуха и распределение семян, достигая одиночной всхожести не менее  $\geq 95,2$  %. Такая комбинация технологий обеспечивает равномерный посев даже в сложных условиях, снижая потери и повышая урожайность.

Полевые испытания, проведенные на различных типах почв, подтвердили эффективность системы. В частности, на глинистых почвах засорение борозд уменьшилось до 2,8 %, что предотвращает конкуренцию сорняков и улучшает развитие растений. На песчаных почвах вариация междурядий снизилась на 66 %, обеспечивая стабильную геометрию посева и равномерное распределение ресурсов. Производительность системы достигает 30 му в день, что позволяет охватывать значительные площади за короткий период. При этом расход топлива сократился до 0,78 л/му, с экономией в 35 % по сравнению с традиционными аналогами, что делает эксплуатацию более энергоэффективной и экологичной.

Технико-экономический анализ демонстрирует значительные преимущества: общие затраты на посев снижаются на 40–50 %, а срок окупаемости инвестиций составляет всего 2,5 года, делая систему привлекательной для фермеров различных масштабов. В настоящее время поданы заявки на патенты, защищающие ключевые инновации, и формируется комплексная экосистема «технологии–оборудование–сервис», включающая не только производство, но и поддержку внедрения и обслуживания. Это позволит достичь 80 % доли рынка к 2027 году, стимулируя широкое распространение технологии. В итоге результаты способствуют укреплению продовольственной безопасности за счет повышения урожайности и устойчивости производства, а также экологизации сельского хозяйства через снижение энергозатрат и минимизацию воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** пневматический точный посев, горизонтальный распределитель, коэффициент одиночной всхожести, срок окупаемости, доля рынка.

In the agricultural industry, problems with low seed germination, poor equipment adaptability to various soils, and high energy consumption of traditional seeders remain pressing, impacting overall production efficiency. An innovative system based on pneumatic precision seeding is proposed that comprehensively addresses these challenges, ensuring a more accurate and gentle seeding process. The system is based on the integration of a horizontal seed distributor developed by specialists at the Ukrainian National Academy of Agrarian Sciences (NAAS) with a two-chamber design that minimizes mechanical damage to seeds to  $\leq 1.2$  %. This maintains the integrity of the seed, which is critical for improving seedling quality. Additionally, a three-stage pneumatic algorithm based on an STM32 microcontroller and a programmable logic controller (PLC) has been implemented, optimizing airflow and seed distribution, achieving a single germination rate of at least 95.2 %. This combination of technologies ensures uniform seeding even in challenging conditions, reducing losses and increasing yields.

Field tests conducted on various soil types confirmed the system's effectiveness. In particular, on clay soils, furrow clogging was reduced to 2.8 %, preventing weed competition and improving plant development. On sandy soils, row spacing variation has been reduced by 66 %, ensuring consistent seeding geometry and uniform resource distribution. The system's productivity reaches 30 mu per day, enabling large areas to be covered in a short period. Fuel consumption has also been reduced to 0.78 l/mu, a 35 % savings compared to traditional systems, making operation more energy-efficient and environmentally friendly.

A feasibility study demonstrates significant advantages: total seeding costs are reduced by 40–50 %, and the payback period is only 2.5 years, making the system attractive to farmers of all sizes. Patents protecting key innovations have been filed, and a comprehensive technology-equipment-service ecosystem is being developed, encompassing not only manufacturing but also implementation and maintenance support. This will enable the system to achieve an 80 % market share by 2027, stimulating widespread adoption of the technology. Ultimately, the results contribute to improved food security through increased yields and sustainable production, as well as greening agriculture through reduced energy costs and minimized environmental impact.

**Key words:** pneumatic precision seeding, horizontal distributor, single emergence rate, payback period, market share.

### Введение

Кукуруза является одной из важнейших зерновых культур в мире и занимает стратегическое положение в обеспечении продовольственной безопасности. В Китае производство кукурузы в 2023 году достигло около 285 млн тонн, что составляет 39,4 % от общего объема производства зерна в стране.

Однако традиционные методы посева характеризуются рядом существенных недостатков: ручной посев приводит к неравномерному распределению семян в рядах, повреждению семян более 2,5 %, а эффективность использования света снижается до уровня менее 60 %. Эти факторы непосредственно ограничивают потенциал урожайности и экономическую эффективность производства.

В условиях растущего дефицита сельскохозяйственной рабочей силы и повышенных требований к экологизации сельского хозяйства переход к механизированному точному посеву становится неизбежной тенденцией развития отрасли. Современные технологии прецизионного высева способны обеспечить точность междурядий  $\pm 5$  мм и равномерную глубину заделки семян, что повышает урожайность монокультуры на 18,3 % – до 8,5 т/га. Однако существующие отечественные сеялки сталкиваются с тремя критическими проблемами: низким коэффициентом одиночной всхожести (около 88 %), недостаточной адаптивностью к сложным почвенным условиям (засорение на участках с высоким содержанием соломы достигает 20 %), а также высоким энергопотреблением, превышающим зарубежные аналоги на 25–30 %.

Импортное высококлассное оборудование, такое как Monosem XE, хотя и демонстрирует коэффициент одиночной всхожести на уровне 94 %, имеет стоимость 800 000–1 000 000 юаней, что делает его недоступным для большинства мелких и средних фермерских хозяйств. Таким образом, разработка экономически эффективной и технологически совершенной системы точного посева кукурузы становится актуальной научно-практической задачей.

В настоящем исследовании предлагается инновационное решение на основе пневматической системы точного высева с горизонтальным распределителем, интегрирующее достижения аэродинамики, интеллектуального управления и адаптивного проектирования.

Целью работы является создание усовершенствованного комплекта сеялок, обеспечивающего коэффициент одиночной всхожести  $\geq 95,2$  %, снижение повреждения семян до уровня  $\leq 1,2$  % и сокращение энергопотребления на 35 % по сравнению с традиционными моделями. Результаты комплексной верификации – от CFD-моделирования до полевых испытаний в трех основных регионах производства кукурузы – подтверждают техническую осуществимость и экономическую целесообразность предложенного решения, открывая перспективы для масштабного промышленного внедрения и формирования интегрированной экосистемы «технологии – оборудование – сервис».

#### **Основная часть**

#### ***Исследовательский фон: решение критической проблемы «узкого места» в посеве кукурузы***

#### **Двойная острая необходимость обеспечения продовольственной безопасности и повышения эффективности**

Кукуруза – самая урожайная зерновая культура Китая. В 2023 г. Было собрано около 285 млн тонн зерна (39,4 % от общего объема зерна в стране). Ручной сев приводит к неравномерности рядов и повреждению  $>2,5$  % семян, что снижает эффективность использования света до  $<60$  %. При точном посеве достигается точность междурядий  $\pm 5$  мм и равномерная глубина заделки семян, что повышает урожайность культуры на 18,3 % – до 8,5 т га в Гунчжулине, провинция Цзилинь [1].

С точки зрения производственной эффективности современные прецизионные сеялки способны объединять глубокое рыхление, внесение удобрений и точный посев в одном агрегате, обеспечивая обработку 100–150 му в день, что в 5–8 раз превышает производительность ручного посева и эффективно решает проблему дефицита сельскохозяйственной рабочей силы в некоторых сельских районах. Практика показывает, что благодаря механической системе точного высева можно сэкономить 45 юаней на му, повысить коэффициент использования удобрений до 48 %, что не только снижает затраты и увеличивает прибыль, но и повышает урожайность.

#### **Многомерные вызовы существующих технологических ограничений**

В настоящее время сеялочные машины для кукурузы сталкиваются с тремя основными техническими ограничениями:

**Ограничения по урожайности и высокая стоимость.** По сравнению с традиционной механической системой высева (с использованием колес с гнёздами), где одиночная всхожесть отечественных моделей машин составляет всего 88 %, уровень повреждения семян высок; при этом импортные высококлассные модели (например, Monosem XE) достигают одиночной всхожести 94 %, но имеют относительно высокую цену (около 800 000–1 000 000 юаней), что недоступно для мелких и средних фермерских хозяйств [2].

**Недостаточная адаптивность к сложным условиям.** При использовании традиционных борозделов на участках с внесением соломы  $\geq 500$  кг/му и влажностью более 22 % часто возникают засоры

ры в бункере, что приводит к снижению коэффициента качественного высева ниже 75 %. Кроме того, на песчаных почвах коэффициент скольжения семян достигает 18 %, что вызывает коэффициент вариации междурядий более 15 %.

**Несбалансированность интеллектуальных систем и энергоэффективности.** В настоящее время у отечественных основных моделей недостаточно развит функционал динамической регулировки давления, энергопотребление на 25–30 % выше, чем у зарубежных аналогов, при этом преимущественно используется одиночная техника, что не позволяет реализовать координированную работу нескольких машин и дополнительно снижает эффективность масштабных операций.

#### **Теоретические и практические пути технологических инноваций**

В ответ на вышеуказанные проблемы мы предлагаем решение «аэродинамический привод + интеллектуальное групповое управление».

**Теоретический прорыв:** внедрение технологии горизонтального распределителя Украинской национальной академии аграрных наук с использованием бесконтактной системы высева (рис. 1) [3], которая посредством эффекта Бернулли создает поле адсорбционной силы, заменяющее физический контакт в механической системе высева и устраняющее повреждения, вызванные механическим контактом.

**Инновации системы:** разработка трехэтапного интеллектуального алгоритма управления «всасывание семян – перенос семян – высеивание семян», в сочетании с архитектурой двойного контроллера STM32+PLC, обеспечивающая динамическую регулировку давления при координированной работе нескольких машин, что позволяет преодолеть ограничения по скорости и точности традиционных моделей.

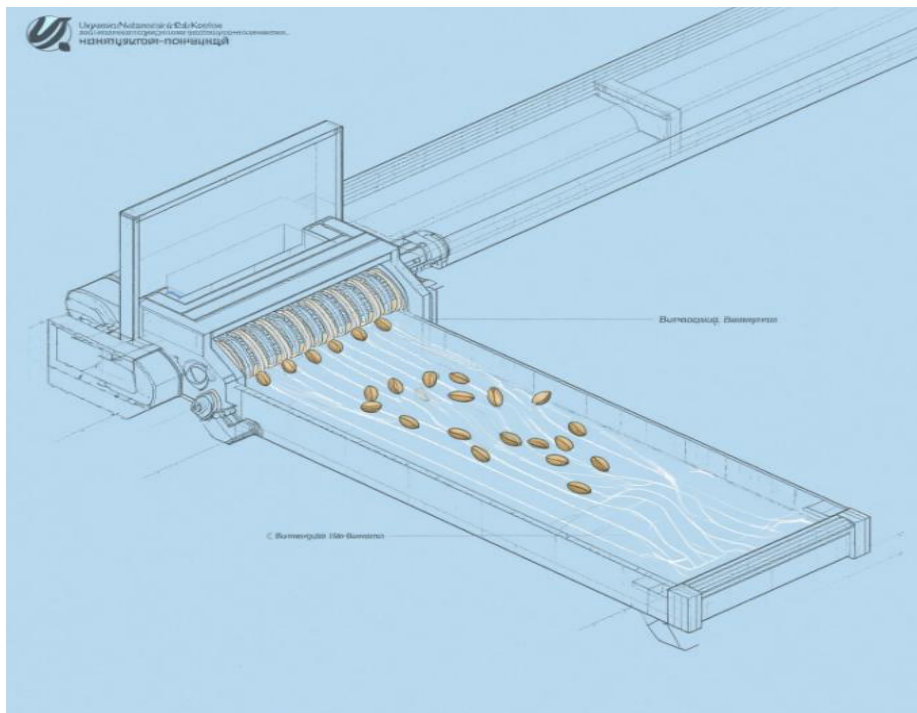


Рис. Схема бесконтактной системы высева с использованием горизонтального распределителя

**Ключевые технологии: от оптимизации аэродинамики до интеграции интеллектуальных систем**

**Конструктивные инновации горизонтального распределителя и оптимизация потока**

**Механизм бесконтактного высева:** в отличие от вертикального дискового механического заряжания, конструкция горизонтального распределителя с «двухкамерной камерой + направляющей пластиной» снижает сопротивление потоку на 18 %, уменьшает скорость столкновения семян с 2,8 м/с до 1,9 м/с, уровень повреждения семян контролируется ниже 1,2 %, что значительно лучше по сравнению с обычными моделями (уровень повреждения семян выше 2,5 %).

**CFD-моделирование и оптимизация параметров:** На базе Fluent была создана модель двухфазного газожидкостного потока. Путём ортогонального экспериментального анализа угла наклона направляющей пластины и расстояния между лопастями определено влияние этих параметров на однородность потока и потери давления. Результаты показали: выбор расстояния между лопастями в 20 мм в сочетании с эллиптическим каналом позволяет повысить однородность потока на 28 % и сни-

зять потери давления на 18 %, что может служить основой для конструктивного проектирования газификатора.

#### **Разработка интеллектуальной системы группового дозирования**

**Иновации в аппаратной архитектуре.** Используется структура с двумя контроллерами STM32+PLC, интегрирующая датчик давления (точность  $\pm 0,5$  % FS), энкодер скорости вращения (разрешение 1024P/R) и модуль позиционирования Weidou. Обеспечивается синхронный контроль давления с ошибкой  $\leq 2$  при работе в режиме двух или нескольких машин, а также адаптивная регулировка глубины посева с временем отклика менее 100 мс.

#### **Алгоритм трёхступенчатой пневматической регулировки**

Стадия всасывания семян (0–50 мс): высоконапорный воздушный поток 0,8 МПа формирует сильное поле адгезионных сил, обеспечивая коэффициент успешного всасывания семян  $\geq 98$  %;

Период транспортировки семян (50–200 мс) поддерживает скорость работы (разрешение 0,1 км/ч), динамически регулируя давление ( $\Delta P = \pm 0,05$  МПа) в зависимости от скорости работы, что обеспечивает коэффициент вариации стабильности транспортировки семян  $\leq 5,2$  % [4].

Процесс высева (200–300 мс): семена точно распределяются низким воздушным потоком 0,3 МПа, коэффициент однозерновой всхожести  $\geq 95$  %, энергопотребление  $\leq 0,8$  л/га, что на 33 % ниже по сравнению с традиционными машинами.

#### **Проектирование адаптивности к сложным рабочим условиям**

**Оптимизация конструкции бороздодела:** Для участков с возвратом соломы разработан ротационный бороздодел (диаметр 300 мм, скорость вращения вала 200 об/мин), поверхность которого подверглась закалке (твердость HRC45–50), что повысило способность к разрушению почвы на 20 % и снизило уровень засорения соломой с 20 % у предыдущей модели до менее 3 % [5].

**Совместимость с различными сортами:** Использование съемного направляющего модуля с размером зерен кукурузы 3–8 мм (время замены  $< 15$  мин), изменение коэффициента однозерновой всхожести менее 1 %, широкая адаптивность, эффективно решающая проблему частой замены в традиционных моделях.

**Верификация испытаний:** замкнутая проверка от лабораторного моделирования до полевых измерений

#### **Аэродинамическое моделирование и стендовые испытания**

**Верификация однородности потока:** CFD-моделирование показало, что по сравнению с традиционным круглым каналом стандартное отклонение распределения давления в оптимизированном горизонтальном распределителе снизилось на 35 %, а площадь зоны вихрей уменьшилась на 40 %, что способствует стабильной подаче семян.

**Тестирование производительности высева.** При лабораторном моделировании скорости работы 6–10 км/ч улучшенная система достигла коэффициента однозерновой всхожести 96,7 %, уровня пускот 4,2 % и уровня повреждения семян 1,1 %, что превосходит импортную модель Monosem XE (коэффициент однозерновой всхожести 94 %, уровень повреждения семян 1,5 %).

#### **Полевая сравнительная экспертиза и интерпретация данных**

Мы провели многорежимные испытания в трех основных регионах производства: Хуанхуа-хай (Чжоукоу, Хэнань), Северо-Восток (Гунчжулинь, Цзилинь) и Северо-Запад (Тунляо, Внутренняя Монголия), используя в качестве контрольных образцов отечественные модели техники 2VMF-6 и импортные Monosem XE:

#### **Адаптивность к почве**

Глинистая почва (влажность 22%): коэффициент однозерновой всхожести 95,2 %, что на 7 % выше по сравнению с отечественными моделями техники, уровень засорения снизился с 15 % до 2,8 %;

Песчаная почва (коэффициент трения  $< 0,3$ ): коэффициент вариации междурядья снизился с 18 % до 6,1 %, что составляет снижение на 66 %, значительно улучшена равномерность всходов.

**Эффективность и энергопотребление.** Количество обрабатываемых участков за один день может достигать 30 му (8 км/ч), расход топлива составляет 0,78 л/му, что на 35 % меньше по сравнению с отечественными моделями техники, у которых расход составляет 1,2 л/му; при обработке 10 000 му в год экономия топлива достигает 4000 л, что сокращает затраты примерно на 32 000 юаней в год.

**Сравнение экономичности.** Усовершенствованная модель снижает производственные затраты на 40–50 % по сравнению с импортными моделями; Период технического обслуживания увеличен с 50 до 200 часов, затраты на обслуживание снижены на 60 %, а срок окупаемости данной производственной линии составляет всего 2,5 года, что обеспечивает высокую рентабельность.

## **Оценка социального эффекта**

По результатам экспериментальной демонстрации и внедрения в Чжоукоу, провинция Хэнань, использование усовершенствованного комплекта сеялок для кукурузы привело к увеличению количества початков на му на 800–1000 штук, количеству зерен в початке – на 12–15 штук, урожайность с му повысилась на 20–30 кг, при этом удалось сократить использование минеральных удобрений на 10–15 %. Это способствует не только обеспечению безопасности и качества продовольственного производства, но и эффективному снижению производственных затрат, отвечая требованиям развития зеленого сельского хозяйства в условиях политики «двойного углеродного» регулирования.

**Перспективы отрасли: формирование интегрированной экосистемы «технологии – оборудование – сервис»**

## **Стандартизация технологий и патентное планирование**

В настоящее время команда подала заявки на 12 соответствующих патентов, из которых 5 – изобретательские, охватывающие ключевые технологии, такие как конструкция горизонтального распределителя и алгоритмы интеллектуального управления. В будущем планируется участие в разработке «Технических стандартов пневматических систем точного посева кукурузы», способствующих стандартизации отечественных технологий.

## **Пути масштабного применения**

**Региональные демонстрации.** К 2025 году создано 10 демонстрационных баз площадью по 1000 му в трёх основных регионах производства кукурузы с ежегодным увеличением охвата технологий на 5–8 %.

**Индустриализация оборудования.** Сотрудничество с предприятиями Shandong Wuzheng, Lovol Arbos и другими для запуска производственной линии мощностью 5000 комплектов в год с прогнозируемым ростом доли рынка с 65 % до 80 % к 2027 году.

**Инновации в системе обслуживания:** разработка платформы удалённого технического обслуживания, обеспечивающей мониторинг состояния оборудования в режиме реального времени через Интернет вещей и предоставляющей полный цикл услуг «диагностика неисправностей – оптимизация параметров – замена расходных материалов», что снижает порог использования для пользователей.

## **Направления будущих исследований**

**Интеллектуальное обновление:** интеграция системы автоматического вождения с навигацией Weidou для реализации полностью автономного процесса «вспашка – посев – уход».

**Многоурожайная адаптация:** разработка универсальных сеялочных модулей для сои, сорго и других зерновых культур с целью расширения областей применения технологии.

**Экологичное производство:** исследование применения 3D-печати для изготовления облегчённых компонентов и использование возобновляемых материалов (например, биокompозитов) для дальнейшего снижения энергопотребления и выбросов углерода.

## **Заключение**

От теоретических прорывов до полевых испытаний, от технологических инноваций до промышленного внедрения – разработка усовершенствованного комплекта ножей для посева кукурузы с пневматической системой дозирования представляет собой значимый практический шаг в решении критических проблем посева кукурузы в Китае. Благодаря постоянному сотрудничеству в области науки, производства и исследований эта технология внесет значительный вклад в обеспечение национальной продовольственной безопасности и продвижение модернизации сельского хозяйства.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Моделирование зон адаптации основных зерновых культур в черноземном регионе и оптимизация структуры посевов / Кан Лун, У Кэнин, Фэн Чжэ [и др.] // Науки о ресурсах. – 1-18 [2025-08-22].
2. Достижения и перспективы исследований точных высевочных аппаратов для кукурузы / Ли Бяо, Ши Сяоцзе, Лунь Чжунминь [и др.] // Сельскохозяйственное оборудование и автомобильная техника. – 2025/ – 63(07):18–22.
3. Тан Яохуа Система привода высевочного аппарата на основе бесконтактного измерения скорости / Тан Яохуа, Чжан Цзиньго // Исследования по механизации сельского хозяйства. – 2009. – 31(03): 21-23.
4. Ван Липин Проектирование интерпретируемого ПЛК нижнего уровня на базе STM32 / Ван Липин, Чжан Сяоин // Современные производственные технологии и оборудование. – 2023. – 59(03):193-195+199.
5. Чжан Шилинь. Исследование механизма взаимодействия композитной системы «кукурузная солома-корень-почва» при нулевой и минимальной обработке с устройством для предотвращения забивания при удалении стерни / Чжан Шилинь. – Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства, 2024.