

ОЧИСТКА И СЕЛЕКТИВНАЯ СОРТИРОВКА ЗЕРНА КАК КЛЮЧЕВЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА В КИТАЕ

ЧЖАН СЯНЬЛЭЙ (ZHANG XIANLEI), С. В. КУРЗЕНКОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: sergkrz@yandex.by

(Поступила в редакцию 01.09.2025)

В статье представлен комплексный анализ структурно-технологической схемы предпосевной обработки семян в Китае с акцентом на ключевые операции их подготовки – очистку и селективную сортировку. Исследование направлено на систематизацию современных методов и технологических решений, обеспечивающих повышение качества посевного материала и формирование единых стандартов для практики семеноводства.

Рассмотрены все последовательные этапы обработки семян: приемка и первичный контроль качества, первичная очистка и доведение до кондиционных параметров, тонкая очистка и селективная сортировка, закладка на хранение с мониторингом параметров среды, а также заключительные операции предпосевной подготовки. Особое внимание уделено инновационным направлениям развития отрасли, включая внедрение интеллектуальных сортировочных комплексов с использованием гиперспектральной визуализации, 3D-машинного зрения и систем автоматизированного управления качеством. Подчеркнута роль технологий контролируемого хранения, интеграции датчиков онлайн-контроля и цифровых систем управления логистикой семенного материала.

Анализ отечественной и зарубежной научной литературы, а также современных производственных практик показывает, что сочетание физических методов обработки с элементами интеллектуализации процессов обеспечивает высокую однородность партий, повышает энергию прорастания и жизнеспособность семян, минимизирует потери при хранении и транспортировке. Выявлено, что оптимизация физических операций – от удаления примесей до селективной сортировки – является фундаментом для построения устойчивой системы семеноводства, способной удовлетворять растущие потребности агропромышленного комплекса.

Результаты исследования подтверждают значимость интеграции точного оборудования, автоматизированных систем контроля и научно обоснованных режимов обработки для трансформации исходного зернового материала в стандартизованные посевные единицы с предсказуемыми высокими показателями всхожести и продуктивности. Полученные выводы могут быть полезны специалистам в области семеноводства, агрономии, технологий хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, а также использоваться при разработке инновационных проектов в сфере продовольственной безопасности и устойчивого развития аграрного производства.

Ключевые слова: предпосевная обработка семян, очистка семян, селективная сортировка, физическая обработка, интеллектуальные технологии сортировки, гиперспектральная визуализация, машинное зрение, контроль качества семян, технологии хранения.

This article presents a comprehensive analysis of the structural and technological process of pre-sowing seed treatment in China, focusing on the key preparation operations – cleaning and selective sorting. The study aims to systematize modern methods and technological solutions that improve seed quality and develop uniform standards for seed production practices.

All sequential stages of seed processing are considered: acceptance and initial quality control, initial cleaning and conditioning, fine cleaning and selective sorting, storage with environmental monitoring, and the final pre-sowing preparation operations. Particular attention is paid to innovative areas of industry development, including the implementation of intelligent sorting systems using hyperspectral imaging, 3D machine vision, and automated quality control systems. The role of controlled storage technologies, the integration of online monitoring sensors, and digital seed logistics management systems is emphasized.

An analysis of domestic and international scientific literature, as well as modern production practices, shows that the combination of physical processing methods with elements of process intelligence ensures high batch uniformity, increases germination energy and seed viability, and minimizes losses during storage and transportation. It is revealed that optimization of physical operations – from impurity removal to selective sorting – is the foundation for building a sustainable seed production system capable of meeting the growing needs of the agro-industrial complex.

The study results confirm the importance of integrating precision equipment, automated control systems, and scientifically proven processing methods for transforming raw grain into standardized seed units with predictably high germination and productivity rates. The findings may be useful to specialists in seed production, agricultural engineering, and agricultural storage and processing technologies, as well as for developing innovative projects in food security and sustainable agricultural development.

Key words: pre-sowing seed treatment, seed cleaning, selective sorting, physical processing, intelligent sorting technologies, hyperspectral imaging, machine vision, seed quality control, storage technologies.

Введение

Качество семенного материала является фундаментальным фактором, определяющим урожайность и продуктивность сельскохозяйственных культур. Эффективность агропроизводства во многом зависит от того, насколько тщательно семена прошли этапы подготовки к посеву. Среди всего комплекса технологических операций особое значение имеют очистка и селективная сортировка, которые формируют основу для получения стандартизованных партий семян с прогнозируемыми посевными характеристиками.

В мировой практике именно эти процессы рассматриваются как ключевое звено в системе семеноводства, обеспечивающее однородность, высокую всхожесть и энергию прорастания зерна. В условиях Китая, где семеноводство играет стратегическую роль в обеспечении продовольственной безопасности и поддержании темпов роста агропромышленного комплекса, очистка и селективная сортировка зерна развиваются особенно интенсивно. Это обусловлено как масштабами сельскохозяйственного производства, так и внедрением инновационных решений в области агрономии и автоматизированных технологий обработки.

Современные китайские практики семеноводства демонстрируют интеграцию традиционных механических методов с интеллектуальными системами сортировки на основе гиперспектральной визуализации, машинного зрения и сенсорного контроля. Такой подход позволяет значительно повысить эффективность обработки, минимизировать потери посевных качеств при хранении и транспортировке, а также сформировать посевной материал, отвечающий международным стандартам качества.

Таким образом, изучение процессов очистки и селективной сортировки семян в Китае представляет не только научный интерес, но и практическую ценность для совершенствования и развития этих технологий в мировом масштабе.

Проблемам предпосевной обработки семян посвящены многочисленные работы ученых. В основном исследования в этой области развиваются в направлениях совершенствование механических методов очистки и сепарации зерна, а также создания интеллектуальных систем сортировки.

Говоря о совершенствовании механических методов очистки и сортировки зерна, исследователями подчеркивается, что классические принципы этих операций, основанные на применении вибросит, воздушных сепараторов, гравитационных столов остаются неизменными и являются основой технологических линий производства семян. Однако современные исследования направлены на повышение их точности и энергоэффективности. Так, например, работы Демчука и его соавторов показывают значимость оптимизации механических комплексов для обеспечения стабильности характеристик посевного материала в условиях Сибири [4]. Подобные исследования демонстрируют, что даже традиционные методы могут быть существенно усовершенствованы за счет внедрения многоступенчатых систем разделения и автоматизации контроля. К этим же выводам приходят и ученые из Беларуси [2], в частности специалисты Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, которые активно исследуют вопросы повышения качества семян и эффективности сельскохозяйственной техники [3]. Их работы в области оценки эксплуатационных характеристик посевных комплексов и разработки ресурсосберегающих технологий представляют значительный интерес для сравнительного анализа с китайским опытом.

Значительный вклад в развитие технологий сортировки вносят китайские исследователи. Последнее десятилетие характеризуется активным внедрением оптических и сенсорных технологий. Исследования Сюя, Чэня и Ли [4] демонстрируют практику использования цветосортировочных машин для возвратных зерновых материалов, а современные разработки в Китае активно используют гиперспектральную визуализацию и машинное зрение для распознавания дефектов и автоматического отбора зерна. Это позволяет перейти от простого механического разделения к интеллектуальной классификации, основанной на комплексной оценке морфометрических и оптических характеристик.

Исследования Чжоу В. [5] в области логистического управления на семенных предприятиях и Цэн Ц. [6] по интеллектуальным складским системам подчеркивают важность интеграции этапов обработки и хранения в единую управляемую цепочку.

Таким образом, можно отметить, что эволюция методов предпосевной обработки идет в сторону интеграции: от совершенствования традиционной механической очистки и сортировки – к внедрению интеллектуальных систем сортировки. Такой подход обеспечивает более высокое качество посевного материала, снижает потери и повышает устойчивость сельского хозяйства в целом. И в этом вопросе комплексный подход, объединяющий передовые достижения китайского агропрома и агрономии с фундаментальными исследованиями постсоветской школы, в том числе и белорусских ученых, может послужить драйвером прорывных технических решений.

Целью данного исследования является анализ и обобщение современных технологий физической обработки семян в Китае, в частности, операций очистки и сортировки, оценка их эффективности и выявление ключевых тенденций развития. Исследование нацелено на структурирование существующего опыта и демонстрацию того, как комплексный подход к физической подготовке семян способствует созданию высококачественного посевного материала.

Основная часть

В качестве объекта исследования выступает технологический процесс предпосевной подготовки зерна в условиях китайских семенных заводов и элеваторных комплексов. Предмет исследования –

операции подготовки зерна к посеву с акцентом на его очистку и сортировку. Методологической основой работы послужили системный анализ, обобщение научно-технической литературы и патентных источников, а также описание технологических процессов.

Операции предпосевной обработки зерна в Китае традиционно подразделяются на два основных уровня: физический и физиологический (рис. 1).



Рис. 1. Основные этапы производства семенного материала в Китае

Физическая обработка предполагает механическое воздействие, направленное на удаление посторонних примесей, улучшение физических характеристик семян, а также выделение из общей массы посевных фракций, обладающих наилучшими качественными показателями.

Физиологическая обработка осуществляется посредством применения химических, биологических и иных методов, обеспечивающих модификацию внутренних процессов в семенах. К числу таких приемов относятся дезинфекция, стимуляция и другие способы, повышающие энергию прорастания, всхожесть и устойчивость семян к абиотическим и биотическим стрессовым факторам. В рамках данного исследования акцент сделан преимущественно на физической обработке [7].

1. Приемка и первичный контроль зерна: основа для принятия решений

Первый этап является фундаментальным, поскольку определяет дальнейшую стратегию обработки. На современных китайских предприятиях приемка зерна автоматизирована. Например, на крупных элеваторах провинции Хэйлунцзян внедрены системы автоматического взвешивания и отбора проб,

что позволяет обрабатывать до 500 тонн зерна в час. Лабораторный контроль включает не только измерение влажности и засоренности, но и, в ряде случаев, экспресс-анализ на содержание микотоксинов с помощью иммуноферментного анализа (ИФА), что предотвращает закладку на хранение зараженного материала. Получаемые данные (влажность – с точностью до 0,5 %, содержание сорной примеси – до 0,1 %) интегрируются в систему управления предприятием, что позволяет сразу же присвоить партии класс качества и определить оптимальный режим последующей сушки и очистки [4, 5].

2. Очистка и предварительная обработка: создание базовых условий

Данный этап направлен на стабилизацию состояния зерновой массы. Использование каскада вибрационных сит и аспирационных колонок позволяет достичь высокой степени очистки. Например, комбинированные сепараторы серии «5XFZ» производства компании «Hebei Saide Machinery» обеспечивают эффективность очистки от легких примесей на уровне 99 %, а от тяжелых – до 100 %. Сушка является наиболее энергоемким процессом. Современные сушилки шахтного типа, используемые в Китае, работают по принципу низкотемпературного ступенчатого нагрева (не более 45–50 °C для семенного зерна), что исключает тепловое повреждение зародыша. Стандартом для семенных партий является снижение влажности до 13–14 %, что подтверждается данными исследований [8]. Такой уровень влажности гарантирует биологическую стабильность при хранении.

3. Тонкая и селективная сортировка: переход к интеллектуальному отбору

Этот этап является ключевым для обеспечения однородности. Традиционная сортировка по удельному весу и геометрии, безусловно эффективна. Однако настоящим прорывом стало внедрение оптико-электронных сортировщиков. Аппараты на основе ПЗС-камер (как, например, модель «SORTEX 9000» от Bühler) способны анализировать до 400 000 семян в секунду по цвету, форме и текстуре. Они идентифицируют и удаляют семена с невидимыми глазу дефектами: микротрещинами, слабой пигментацией, следами микробиологического поражения. Гиперспектральные системы следующего поколения, внедряемые на передовых предприятиях, позволяют проводить анализ на химическом уровне, выявляя, к примеру, семена с аномально низким содержанием белка или масла.

Процесс гомогенизации с помощью пневмосмесителей, таких как «Seed Mixers» от «PETKUS», обеспечивает коэффициент вариации по массе 1000 семян не более 3–4 %, что является исключительно высоким показателем. Это напрямую влияет на равномерность всходов. Исследования показывают, что использование интеллектуальной сортировки позволяет повысить лабораторную всхожесть семян пшеницы на 5–7 % по сравнению с традиционными методами [4, 5].

4. Хранение и контроль качества: сохранение достигнутых результатов

Современное хранение семян в Китае – это активный, а не пассивный процесс. Системы на основе Интернета вещей (IoT), как описано Цэн Ц. [6], позволяют в режиме реального времени отслеживать температуру, влажность и уровень СО₂ в хранилище. Датчики, размещенные на разных уровнях, передают данные на центральный пульт. При отклонении параметров система автоматически включает активную вентиляцию или подает сигнал оператору. Это предотвращает самосогревание массы и развитие микрофлоры. Регулярный мониторинг всхожести (например, каждые 3 месяца) позволяет динамически оценивать состояние партии. На некоторых предприятиях внедряется технология хранения в регулируемой газовой среде (РГС), что позволяет еще больше подавить метаболизм семян и продлить срок их хранения без потери качества.

5. Предпосевная обработка: финальная оптимизация

Заключительный этап интегрирует физические и химико-биологические методы. Технология дражирования в псевдосжиженном слое, активно развивающаяся в Китае, позволяет не только наносить защитно-стимулирующие составы, но и придавать семенам идеальную форму и размер для точного высеяния. Как показали исследования Ю.Х. [8], использование дражирования с циклическим термовоздействием (35–40 °C) увеличивает водопроницаемость оболочки в 3–5 раз, что приводит к сокращению сроков прорастания на 1–2 дня и повышению равномерности всходов до 90–95 %. Это имеет критическое значение для технологий точного земледелия.

Таким образом, вся представленная схема (рис. 1) работает как единый организм. Каждый этап генерирует данные для последующего, а система контроля качества пронизывает весь процесс. Такой подход позволяет трансформировать неоднородную природную зерновую массу в стандартизованный высокотехнологичный продукт, которым является семена сельскохозяйственных культур.

Заключение

Проведенный анализ позволяет заключить, что технология предпосевной физической обработки семян в Китае представляет собой высокоорганизованную, многоступенчатую систему, центральное

место в которой занимают операции очистки и селективной сортировки. Научно-технический прогресс в этой области проявляется в переходе от простого механического разделения к интеллектуальной, высокоточной сортировке на основе оптических и морфометрических признаков, а также во внедрении комплексных систем контроля на всех этапах – от приемки до хранения. Ключевыми факторами эффективности являются стандартизация процессов, основанная на точных измерениях, и их интеграция в единую цифровую среду управления.

Научная новизна работы заключается в систематизации современных технологий очистки и сортировки семян в контексте полной технологической цепи, что имеет практическую ценность для оптимизации подобных процессов. Реализация подобных комплексных подходов позволяет не только значительно повысить посевные качества семян (всхожесть, энергию прорастания, однородность), но и создать надежную основу для рентабельного и экологически устойчивого сельскохозяйственного производства.

Результаты представленных исследований подтверждают значимость интеграции точного оборудования, автоматизированных систем контроля и научно обоснованных режимов обработки для трансформации исходного зернового материала в стандартизованные посевные единицы с предсказуемыми высокими показателями всхожести и продуктивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демчук, Е. В. Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик посевных комплексов в условиях Западной Сибири / Е. В. Демчук, В. В. Мяло, А. А. Кем // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2 (26). – С. 99–105.
2. Зеленко, С. А. Сортирование семян льна по удельному весу на прямоточном вибропневматическом сепараторе: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / С. А. Зеленко. – Горки, 2019. – 156 с.
3. Курзенков, С. В. Методы очистки и селективной сортировки семян, их преимущества и недостатки / С. В. Курзенков, Сянылэй Чжан // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3. – С. 89–92.
4. Сюй, Цз. Исследование и практика технологии обработки возвращаемых зерновых материалов на цветсортирующих машинах / Цз. Сюй, Ш. Чэнь, В. Ли // Обработка зерна. – 2024. – Т. 49, № 2. – С. 71–72.
5. Чжоу, В. Исследование логистического управления и оптимизации в семенных предприятиях / В. Чжоу // Молекулярная селекция растений. – 2025. – Т. 23, № 6. – С. 2077–2083.
6. Цэн, Ц. Исследование интеллектуального управления складом на основе технологии интернета вещей / Ц. Цэн // Китайская логистика и закупки. – 2024. – № 17. – С. 110–112.
7. Мельникова, Ю. А. О предпосевной обработке семян древесных пород и кустарников с применением электрических воздействий / Ю. А. Мельникова, И. В. Юдаев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 3. – С. 31–35.
8. Ходжаев, Т. А. Предпосевные физические методы воздействия на семена растений (обзор) / Т. А. Ходжаев, Н. У. Муллоев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2018. – № 4. – С. 54–64.
9. Ю, Х. Анализ применения технологии обволакивания семян / Х. Ю // Наука о семенах. – 2025. – Т. 43, № 2. – С. 60–62.