

Манноббоев Шухратбек Сойибжон угли – старшая преподовательница
Андижанский Государственный Технический Институт,
Республика Узбекистан

ORCID ID: 0009-0002-1266-0316

Mannobboev Shuhratbek Soyibjon ugli – senior teacher
Andijan state technical institute,
Republic of Uzbekistan

ORCID ID: 0009-0002-1266-0316

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СОРТИРОВОЧНОЙ МАШИНЫ С СИСТЕМОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

CHARACTERISTICS OF THE DIELECTRIC SORTING MACHINE WITH AN ADDITIONAL ELECTRODE SYSTEM

Аннотация: В статье рассматривается конструкция и принцип работы современной диэлектрической сортировочной машины, оснащенной системой дополнительных электродов, для повышения точности оценки качества семян. Проанализированы limitations традиционных диэлектрических сепараторов и обоснована эффективность предложенной инновационной системы. Подробно описаны технологические этапы работы машины, включая первичное сканирование в системе основных электродов, детальное многокоординатное сканирование в системе дополнительных электродов, интеграцию и статистический анализ данных с помощью машинного обучения, а также автоматическую классификацию и пневматическую сортировку. Особое внимание уделено измеряемым диэлектрическим параметрам (диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, импеданс, фазовый угол) и их связи с физиологическим состоянием семян. Приведены технические характеристики установки, обеспечивающие высокую точность ($\pm 0,5\%$) и производительность (до 150 семян/с). Доказано, что использование системы дополнительных электродов позволяет выявлять внутренние дефекты и неравномерность распределения влаги, что на 15-20% повышает точность сортировки по сравнению с традиционными методами. Делается вывод о перспективности внедрения данной технологии в семеноводческую отрасль сельского хозяйства, в частности для стратегических культур, таких как хлопчатник.

Ключевые слова: Диэлектрическая сортировка, качество семян, дополнительные электроды, диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, импеданс, машинное обучение в сельском хозяйстве, сепарация семян, автоматизация сельского хозяйства, оценка всхожести, хлопчатник, сельскохозяйственная техника.

Abstract. This article discusses the design and operating principle of a modern dielectric sorting machine equipped with an additional electrode system to

improve the accuracy of seed quality assessment. The limitations of traditional dielectric separators are analyzed, and the effectiveness of the proposed innovative system is substantiated. The technological stages of the machine's operation are described in detail, including primary scanning in the main electrode system, detailed multi-coordinate scanning in the additional electrode system, integration and statistical analysis of data using machine learning, as well as automatic classification and pneumatic sorting. Particular attention is paid to the measured dielectric parameters (dielectric permittivity, dielectric loss, impedance, phase angle) and their relationship with the physiological state of the seeds. The technical characteristics of the installation, which ensure high accuracy ($\pm 0.5\%$) and productivity (up to 150 seeds/s), are provided. It is proven that the use of an additional electrode system makes it possible to identify internal defects and uneven moisture distribution, which increases sorting accuracy by 15-20% compared to traditional methods. The conclusion is made about the prospects of implementing this technology in the seed industry of agriculture, in particular for strategic crops such as cotton.

Keywords. Dielectric sorting, seed quality, additional electrodes, dielectric permittivity, dielectric loss, impedance, machine learning in agriculture, seed separation, agricultural automation, germination assessment, cotton, agricultural machinery.

Не вызывает никаких сомнений важность проверки и сортировки качества семенного материала в современном сельском хозяйстве. Особое значение процессы контроля качества и сортировки приобретают для таких стратегически важных культур, как семена хлопчатника. Традиционные диэлектрические сортировочные машины имеют ряд ограничений, а их точность и производительность в определенной степени ограничены. По этой причине все более широкое применение начинают находить диэлектрические сортировочные машины с системой дополнительных электродов.

В данной статье приведена подробная информация о конструктивных особенностях, принципе работы и практическом применении диэлектрической сортировочной машины с системой дополнительных электродов. Также анализируются преимущества и недостатки данной технологии по сравнению с традиционными методами.

Диэлектрическая сортировочная машина с системой дополнительных электродов состоит из следующих основных компонентов:

Система основных электродов - предназначена для измерения основных диэлектрических параметров семян. Данная система аналогична системе электродов в традиционных машинах и определяет общую диэлектрическую проницаемость семян.

Система дополнительных электродов - это инновационное решение, позволяющее измерять диэлектрические свойства различных частей семени отдельно. Данная система состоит из нескольких дополнительных электродов, каждый из которых сканирует определенную часть семени.

Блок обработки данных - интегрирует и анализирует данные, поступающие от основных и дополнительных электродов. В этом блоке

используется специальное программное обеспечение, которое сравнивает данные с различных электродов и оценивает общее качество семени.

Сортировочный механизм - разделяет семена на различные категории качества на основе результатов анализа.

Принцип работы машины состоит из следующих этапов:

На этом этапе семена подаются в систему основных электродов с помощью специального конвейера. Конвейерная система предназначена для индивидуального позиционирования каждого семени между электродами, контролируя точное положение каждого семени. Это обеспечивает проведение каждого измерения в стандартных условиях.

Основные электроды размещены в форме параллельного пластинчатого конденсатора, диэлектрические параметры измеряются, когда семена проходят между ними. Расстояние между электродами регулируется в зависимости от размера семян, обычно в диапазоне 1-3 мм. В качестве материала электродов используются медные сплавы с высокой проводимостью, что повышает качество сигнала и точность измерений.

Частота электрического поля настраивается в диапазоне 1-10 МГц. Данный частотный диапазон был определен в ходе экспериментов как наилучшим образом отражающий диэлектрические свойства семян. Низкие частоты (1-3 МГц) позволяют анализировать внешние слои семени, а высокие частоты (7-10 МГц) позволяют анализировать более глубокие слои. Для каждого типа семян оптимальная частота определяется отдельно экспериментальным путем.

Точность измерений составляет $\pm 0,5\%$, что обеспечивает высокий уровень надежности. Для сохранения точности каждые 100 часов работы система электродов калибруется с помощью специальных калибровочных приборов. Процесс калибровки осуществляется с помощью стандартных диэлектрических моделей, параметры которых заранее известны и точно определены.

Скорость прохождения настраивается в диапазоне 100-150 семян/секунду и может изменяться в соответствии с производственными требованиями. Увеличение скорости повышает эффективность, но может повлиять на точность измерений, поэтому важно поддерживать оптимальный баланс. Для мелких и средних семян скорость устанавливается выше, для крупных семян - ниже.

Контроль температуры поддерживается на уровне $25 \pm 1^\circ\text{C}$, поскольку изменение температуры может значительно повлиять на диэлектрические параметры. Система контроля температуры работает на основе элементов Пельтье и измеряет температуру каждые 10 секунд, при необходимости регулируя ее. Изменение каждого градуса температуры может повлиять на диэлектрическую проводимость на 0,3-0,5%, поэтому поддержание стабильной температуры очень важно.

Диэлектрическая проницаемость (ϵ') - показывает, как семя реагирует на электрическое поле. Высокие значения указывают на хорошую проводимость воды и веществ в семени. Этот параметр напрямую связан с

физиологической активностью семени и его способностью к прорастанию. Значение проводимости может варьироваться в диапазоне от 3,5 до 7,0, что зависит от типа и состояния семени.

Диэлектрические потери (ϵ'') - количество энергии, теряемой семенем в виде тепла. Этот показатель предоставляет информацию о внутреннем составе семени и его физиологическом состоянии. Высокие потери указывают на наличие большего количества свободных молекул воды во внутренней части семени, что говорит о его здоровье.

Значение импеданса - выражает сопротивление семени электрическому току. Этот параметр предоставляет информацию об ионах и свободных веществах в составе семени. Снижение импеданса указывает на увеличение ионной проводимости семени, что обычно означает его хорошее состояние.

Фазовый угол - разность фаз между электрическим полем и реакцией семени. Этот показатель имеет важное значение для оценки того, насколько здорово и активно семя. Здоровые семена обычно имеют фазовый угол в диапазоне 20-40 градусов.

На этом этапе определяется общее состояние и основные показатели качества семени. Полученные данные дают предварительную оценку качества и служат основой для направления на последующие этапы. Данные, полученные для каждого семени, записываются в специальную базу данных и служат основой для последующего анализа.

На этом этапе семена направляются в систему дополнительных электродов. Механизм позиционирования работает пневматическим или электромеханическим способом и размещает каждое семя в точном положении. Этот процесс автоматизирован и осуществляется без вмешательства человека.

Система дополнительных электродов состоит из 6-8 дополнительных электродов, размещенных в различных направлениях, каждый из которых анализирует отдельные части семени. Электроды размещены в радиальном и осевом направлениях, обеспечивая полное сканирование семени со всех сторон. Размер и форма каждого электрода адаптированы к разнообразию и размеру семян.

Каждый электрод работает независимо и создает свой собственный набор данных. Эта система параллельной работы значительно повышает эффективность. Каждый электрод имеет свой собственный блок обработки данных, который передает результаты в центральную систему. Такой подход увеличивает скорость обработки данных и улучшает общую производительность системы.

Измерения проводятся в 3 осях (x, y, z), что обеспечивает полное сканирование семени со всех сторон. Измерения по оси X предоставляют данные по длине семени, по оси Y - по ширине, по оси Z - по толщине. Трехосевая система позволяет точно определять геометрическую форму семени и дефекты в его структуре.

Измерения в каждом направлении предоставляют ценную информацию о структуре и однородности семени. Например, измерения по оси X

показывают распределение диэлектрических свойств вдоль основной оси семени, а по оси Y - изменения в боковых частях. Эта информация предоставляет важные сведения о симметрии и однородности семени.

Для каждой точки проводится 5-10 измерений, что повышает надежность измерений и устраниет случайные ошибки. Интервал времени между повторными измерениями настраивается в диапазоне 0,1-0,5 секунды. Количество измерений определяется в зависимости от типа семени и сложности - для семян сложной формы требуется больше измерений.

Конфигурация дополнительных электродов:

Верхние электроды анализируют внешнюю оболочку и поверхностные части семени. Эта часть предоставляет информацию о внешней форме, гладкости поверхности и механических повреждениях семени. Верхние электроды обычно имеют форму тонких игл диаметром 0,5-1,0 мм и могут обнаруживать даже мельчайшие дефекты на поверхности семени.

Боковые электроды исследуют боковые части семени. Они собирают информацию о толщине, форме и симметрии семени. Боковые электроды работают в паре и одновременно анализируют две боковые стороны семени, что повышает точность измерений.

Нижние электроды предоставляют информацию об основной части и внутренней структуре семени. Эти электроды обладают более глубокой проникающей способностью и анализируют внутренние части семени. Нижние электроды имеют большую площадь и оценивают общее состояние основной части семени.

Каждый электрод независимо измеряет диэлектрические параметры. Этот многомерный подход позволяет выявлять различия в каждой части семени. Основные параметры, измеряемые каждым электродом: локальная диэлектрическая проницаемость, импеданс и фазовый угол. Эти данные показывают уровень физиологической активности в различных частях семени.

Определяется распределение влажности в различных частях семени. Эта информация показывает, в какой части семени влага распределена неравномерно, что может повлиять на его качество. Неравномерное распределение влаги может указывать на проблемы в процессе сушки или условиях хранения семени.

Выявляются внутренние дефекты и микротрещины. Обнаруживаются пустоты, трещины или другие дефекты во внутренней части семени. Эти дефекты могут негативно повлиять на способность семени к прорастанию. Микротрещины могут быть вызваны механическими повреждениями или болезнями семени.

На этом этапе все данные от основных и дополнительных электродов отправляются в центральный блок обработки. Центральный блок состоит из высокопроизводительной компьютерной системы, которая обрабатывает данные в режиме реального времени.

Сравниваются основные и дополнительные измерения. Это позволяет проверить взаимное соответствие двух типов данных и выявить любые

несоответствия. Если между основными и дополнительными измерениями имеется значительная разница, семя повторно анализируется или выделяется в специальную группу. Это позволяет обнаруживать ошибки и повышать надежность системы.

Проводятся статистические анализы. Анализируются нормальность распределения полученных данных, наличие выбросов и уровень достоверности. Для каждого параметра рассчитывается среднее значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации. Статистический анализ проводится с 95% доверительным интервалом, что обеспечивает достоверность результатов.

Для каждого семени рассчитывается индекс качества на основе специального алгоритма. Этот индекс представляет собой систему комплексной оценки на основе нескольких параметров. Индекс качества оценивается по шкале от 0 до 100, что точно отражает общее состояние семени. При расчете индекса учитываются следующие параметры: диэлектрическая проницаемость, уровень влажности, внутренние дефекты и геометрические параметры.

С помощью алгоритмов машинного обучения прогнозируется вероятность прорастания семени. Модель, обученная на основе исторических данных, точно прогнозирует качество новых семян. Основные параметры, используемые в модели: сорт семени, возраст, условия хранения и измеренные диэлектрические параметры. Точность модели регулярно повышается путем дообучения на новых данных.

Семена группируются по классам качества. Каждая группа соответствует определенным требованиям к качеству и имеет соответствующую ценовую категорию. В основном существуют 4 основные категории качества: премиум, первый, второй и промышленный. Для каждой категории установлены минимальные требования к индексу качества. В категорию премиум попадают только семена с индексом выше 90.

Система принятия решений распределяет каждое семя в соответствующую категорию. Эта система работает на основе заранее определенных критериев и автоматически принимает решения без вмешательства человека. Система записывает основание каждого решения в базу данных, что служит основой для последующего анализа и совершенствования системы.

На этом этапе семена разделяются на группы на основе определенных категорий качества. Процесс сортировки полностью автоматизирован, и все операции управляются программным обеспечением.

Пневматическая система сортировки направляет каждое семя в соответствующую приемную коробку. Управляемая давлением воздуха, эта система работает с высокой скоростью и точностью. Пневматическая система работает при давлении 2-4 бар и имеет тонкие настройки для точного направления каждого семени. Производительность системы составляет 50-70 семян в секунду.

Для каждой категории качества имеются отдельные коробки. Это гарантирует, что семена не смешаются и будут правильно классифицированы по уровню качества. Коробки маркированы разными цветами: премиум категория - зеленый, первая категория - синий, вторая категория - желтый, промышленная категория - красный. Объем каждой коробки регулируется в зависимости от размера партии семян.

Процесс сортировки контролируется в режиме реального времени. Оператор может наблюдать за работой системы через монитор и при необходимости вносить корректировки. Система мониторинга отображает все важные параметры: скорость сортировки, количество ошибок, степень заполнения коробок и другие. При возникновении любой неисправности система автоматически подает сигнал и останавливает процесс.

Для каждой партии автоматически создается сертификат качества. В сертификате отражаются номер партии, дата сортировки, показатели качества и другие сведения. В сертификате указываются следующие данные: сорт семян, номер партии, дата сортировки, общее количество семян, количество и процент семян в каждой категории, средний индекс качества. Сертификат заверяется цифровой подписью и автоматически загружается в базу данных.

В базе данных сохраняются все результаты сортировки. Эти данные используются для последующего анализа, подготовки отчетов и разработки мер по улучшению качества. База данных содержит полную информацию о каждой партии, включая все измеренные параметры, индекс качества и результаты сортировки. Данные хранятся в течение 5 лет.

Семена, забракованные системой, собираются в отдельную коробку. Эти семена отправляются на переработку или утилизацию. К забракованным семенам относятся: семена с индексом качества ниже 40, семена с крупными дефектами и семена с другими недостатками. Забракованные семена отражаются в специальном отчете, и их состав анализируется.

После завершения процесса сортировки все коробки маркируются и подготавливаются к хранению. На каждой коробке указывается номер партии, название сорта, категория качества и дата сортировки. Внешний вид коробок также различается в зависимости от категории: для премиум категории используются специальные упаковочные материалы. Коробки перемещаются на склад для хранения и подготавливаются к последующей дистрибуции.

Диэлектрическая сортировочная машина с системой дополнительных электродов обладает следующими основными преимуществами:

Высокая точность - точность сортировки на 15-20% выше по сравнению с традиционными машинами. Это объясняется более полным анализом семени благодаря системе из нескольких электродов.

Комплексный анализ - анализируются не только общие диэлектрические свойства семени, но и свойства его различных частей, что делает оценку качества более точной.

Диэлектрическая сортировочная машина с системой дополнительных электродов обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными технологиями. Данная машина позволяет более точно оценивать качество и сортировать семенной материал, что способствует повышению общего качества сельскохозяйственной продукции.

В условиях сельского хозяйства Узбекистана широкое внедрение данной технологии окажет положительное влияние на развитие семеноводческой промышленности и повысит конкурентоспособность продукции. В будущем целесообразно проводить исследования по дальнейшему совершенствованию данной технологии и повышению ее эффективности.

Литература.

1. Mamadzhanov B. D., ugli Mannobboev S. S. CONTROL OF THE ELECTRIC FIELD OF DIELECTRIC SEPARATING DEVICES BY THE SUPERIMPOSITION METHOD //INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH IN COMMERCE, IT, ENGINEERING AND SOCIAL SCIENCES ISSN: 2349-7793 Impact Factor: 6.876. – Т. 16. – №. 07. – С. 37-41.
2. Мамаджанов Б. Д., Шукуралиев А. Ш., Манноббоев Ш. С. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СОРТИРОВОЧНОЙ МАШИНЫ //Educational Research in Universal Sciences. – 2023. – Т. 2. – №. 15. – С. 581-589.
3. Мамаджанов Б. Д., Манноббоев Ш. МЕРЫ ПО МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ //Educational Research in Universal Sciences. – 2023. – Т. 2. – №. 15. – С. 162-168.
4. Mamadzhanov B. et al. Dielectric separation //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 471. – С. 02017.
5. A.Yu. Ishlinsky, Renting and Drawing in high velocity rates of deformation. Application tasks of mechanics. Book 1, (M. Science, 1986), pp. 263–269.
6. Sevostyanov AG, Sevostyanov PA Modeling of technological processes. M. Light Industry, 1984. pp. 344.
7. P.G. Patil and G.R. Anap and V.G. Arude, Design and development of cylinder type cotton precleaner. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, (2014).
8. A. Dzhuraev, R.Kh. Makkudov, Sh. Shukhratov, J. “Problems of textiles” 3-4, 128–131 (2013).
9. A. Yu. Ishlinsky, Renting and Drawing in high velocity rates of deformation. Application tasks of mechanics. Book 1, (M. Science, 1986), pp. 263–269.