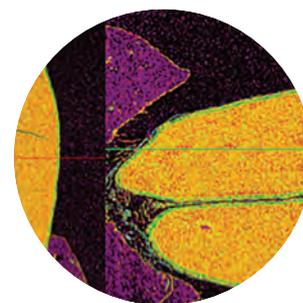


РЕНТГЕНСЕПАРАТОР – ДАЛЬНЕЙШИЙ ШАГ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ



X-RAYS SEPARATOR: FORWARD STEP IN TECHNOLOGY OF OPTICAL SEPARATION

Потрахов Н.Н.¹ – доктор технических наук, профессор
Белецкий С.Л.² – кандидат технических наук, доцент
Мусаев Ф.Б.³ – кандидат с.-х. наук, с.н.с.

Potrakhov N.N.,¹
Beletsky S.L.,²
Musaev F.B.³

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ») 197376, Россия, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5
E-mail: kzhomova@gmail.com

¹ Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI' 197376, Russia, St. Petersburg, Professora Popova St, 5
E-mail: kzhomova@gmail.com

² ФГБУ Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва 111033, Россия, г. Москва, Волочаевская ул., д. 40, корп. 1
E-mail: info@niipkh.rosreserv.ru, grain-miller@yandex.ru

² Federal State Budgetary Institution 'Research Institute for Problems of Preservation Rosreserve' 111033, Russia, Moscow, Volochaevskaya St, 40, building 1
E-mail: info@niipkh.rosreserv.ru, grain-miller@yandex.ru

³ ФГБНУ «Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур» 143080, Россия, Московская область, Одинцовский район, пос. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14
E-mail: musayev@bk.ru

³ Federal State Budgetary Research Institution 'All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production' 143080, Russia, Moscow region, Odintsovo district, p. VNISSOK, Selectionnaya St, 14
E-mail: musayev@bk.ru

Сегодня рентгенсепарация применяется не только в исследовательских целях, она находится в разработке и уже применяется в различных отраслях экономики. Нужно отметить, что биологические объекты, в частности, семена, обладая сложной микроструктурой, трудны для рентгенографического распознавания. В статье рассматривается сепарирование с применением рентгеновского излучения, дальнейшее развитие оптических сепараторов, принцип их действия, основные технические характеристики, сфера применения и эффективность работы. Рентгенсепаратор может распознать все ранее описанные программистом скрытые дефекты семян, к которым добавляются форма, яркость и цвет поверхности исследуемого объекта за счет применения блока оптической сепарации в видимом диапазоне. Разработка такого рода сепарирующих машин – наукоемкая, долгая и достаточно дорогая работа. В прошлом году учеными ЛЭТИ был разработан рабочий макет промышленного рентгенсепаратора для очистки зерна и орехов различных культур. За основу макета был взят фотосепаратор Ф-5 производства ОАО «Воронежсельмаш». Режимы работы сепаратора устанавливаются органами управления с компьютерного пульта прибора. Состояние оборудования прибора и его исполнительных механизмов высвечивается на мониторе. В режимах обработки (сепарации и диагностики) каждой контролируемой партии создается паспорт, включающий в себя идентификационный номер; фиксацию времени получения материалов; время проведения контроля; количество зерен или семян, прошедших контроль, каждому из установленных признаков присваивается номер приемника материала (для режима сепарации); установление числа объектов с установленными признаками; количество неидентифицируемых объектов. Применение рентгенсепараторов на основе фотосепаратора Ф-5 дает возможность комплексной оценки качества семян и сепарация в одном устройстве с созданием электронного протокола со множеством характеристик.

Ключевые слова: рентгеноанализ, сепарирование, семена, скрытые дефекты, признаки делимости, фотозлектронный сепаратор, механизм, примеси, удаление, эффективность, производительность.

Presently the X-ray separation is used not only for research program, but it is also elaborated and applied for different sectors of economy. The seeds as biological objects that possess the complicated microstructure are very difficult to be examined by x-ray technology. The application of x-rays and further elaboration of optical separators, principle of action, basic specifications, way of their use and their efficiency was shown in the article. The x-ray separator may distinguish all hidden seed defects as it was described by a programmer, where owing to the use of the optical separating block in visual range it is possible to add some more details as a shape, brightness and a color of object surface being examined. The elaboration of such separation equipment is scientifically hard work requiring time and expenses. Last year researchers of 'LETI' developed the working model of industrial x-ray separator for examination of grains and nuts in different crops. This model was made on the basis of photoseparator F-5 manufactured at ОАО 'Voronezhselmash'. The instrument state and its mechanism operation are highlighted on monitor. In the regime of processing (separation and examination) of each controlled batch, the passport is produced with following information on identification code, time of material receiving, time of test passed, number of grains or seeds tested. The code of receiver of material is given to each of established characteristics when working the regime of separation, determination of number of objects with characteristics tested and number of unidentified objects. The application of x-ray separators constructed on the basis of photoseparator F-5 enables to carry out the complex estimation on seed quality and separation in only instrument with the development of electronic protocol with many characteristics.

Keywords: x-ray analysis, separation, seeds, hidden defects, traits, divisibility, photoelectronic separator, mechanism, admixture, removing, efficiency, productivity.

Сегодня пройден этап, когда рентгеновский метод был уделом академических структур. Еще начиная с 80-х годов прошлого века для обогащения различной руды и минералов применяли так называемые рентгенсепараторы. Такие машины грубо оценивали качество материалов только по плотности породы в потоке на ленточном конвейере, а дальше происходила также грубая выбраковка неподходящих минералов целой партией, пусть и небольшой.

Разработка такого рода сепарирующих машин наукоемкая, долгая и достаточно дорогая работа. В прошлом году учеными ЛЭТИ был разработан рабочий макет промышленного рентгенсепаратора для очистки зерна и орехов различных культур. За основу макета был взят фотосепаратор Ф-5 производства ОАО «Воронежсельмаш» (рис. 1) [6]. В механизм сепаратора были добавлены следующие основные компоненты: в качестве источника рентгеновского излучения используется специализированная рентгеновская трубка, а в качестве его приемника рентгеночувствительная ПЗС-матрица. Анализ рентгеновского изображения и управление установкой в целом и ее частями производится с помощью компьютерной системы.

Необходимо заметить, что для грубого анализа таких крупных объектов как руда и минералы по одному показателю качества не требуется большой разрешающей способности фотоприемника и высокой точности определения показателя качества, а, значит, нет необходимости в больших потоках данных и высокой мощности микропроцессора. Другое дело сепарация зерна; это сложный по своей микроструктуре живой объект малых размеров с несколькими иден-



Рис. 1. Внешний вид рабочего макета рентгенсепаратора на основе фотосепаратора Ф-5

тифицирующимися анатомо-морфологическими дефектами и характеристиками. Ведь в производстве отбраковка идет в режиме потока, в режиме реального времени. Технические характеристики макета примерно соответствуют паспортным данным фотосепаратора Ф-5: габариты остались те же, производительность около 5 т/ч.

Если оптический сортировщик может оценивать качество анализируемого материала по форме, яркости и цвету его поверхности, а лазерному сепаратору уже доступны некоторые внутренние особенности зерна, то рентгенсепаратор может распознать все описанные человеком скрытые дефекты зерна, к которым добавляются форма, яркость и цвет поверхности исследуемого объекта, так как в нем помимо рентгенографического блока присутствует блок оптической сепарации в видимом диапазоне [4]. Становится возможным проводить разделение объектов (в частности, зерна) по их анатомическим и морфологическим признакам одновременно, в одной технологической машине, но пока что за несколько проходов. Есть еще одна возможность у нового технологического оборудования рентгенсепаратор может дифференцировать скрытый дефект с большой точностью. Так, становится возможным разделить зерно на несколько фракций по степени трещиноватости, внутреннего прорастания, щуплости и энзимомикозного истощения [1]. Эти дополнительные возможности установки особо полезны для семенного материала с целью получения полноценных однородных семян.

На примере зерновых культур новая установка уже сегодня дает возможность сортировать семена по классам.

Валовый сбор злаковых зерновых культур в России сегодня составляет зерно в основном четвертого и пятого классов. Сепарация зерновых культур рентгеновским методом способна повысить их качество в значительной степени. Так, по данным ВНИИЗ, в зависимости от исходного качества на сортировочном столе при разделении зерна пшеницы 4 класса возможно получить от 30 до 80% зерна 3 класса [7]. Цена вопроса новых технологий заключается в прибавочной стоимости исходного продукта приблизительно в полтора раза. Решение этой высокоамбициозной задачи способно дать стране принципиально новый статус на зерновом рынке.

Не менее важным и экономически выгодным является обеспечение сельскохозяйственных предприятий качественным посев-

ным материалом. Необходимо создание современных хранилищ семенного фонда. Рентгеновская сепарация в состоянии решить контроль и отбор семян зерновых культур надлежащего качества.

В основе разработки системы рентгеновской экспресс-диагностики внутренних, скрытых недостатков и повреждений семян и зерна предлагается использовать современные компьютерные технологии.

Размеры, форма, масса, плотность и цвет зерновок и семян зависят от сортовых особенностей и почвенно-климатических условий выращивания. Эти параметры должны накапливаться в базе, содержащей морфологические признаки зерна и семян, идентифицируемых с помощью рентгеновского излучения.

Современные методы бездеформационного исследования и сортировки семян ориентированы на использование их физических параметров, прежде всего, таких, как их вес и форма. Поэтому в качестве разделяющих сил используются: силы гравитации, электростатики, помещение семян в струю газа или жидкости и т.п.

Устройства, описанные в существующих патентах, позволяют проводить массовую сепарацию семян по заданным физическим свойствам или их ограниченной совокупности. Основным преимуществом подобного рода конструкций является их большая пропускная способность. Кроме того, следует отметить целесообразность использования подобных устройств для отделения сорных примесей и загрязнений разного рода (мусора).

Принцип рентгенсепарации подобен фотоэлектронной сепарации сыпучих тел (применительно к переработке сельхозпродукции – семян и т.д.), известен уже более полувека. Он заключается в том, что семена, плоды поодиночке или небольшими группами в несколько штук подаются (падают) в зону контроля. В этой зоне семя освещается специальной лампой, а отраженный свет попадает на фотоэлемент. Сигнал фотоэлемента анализируется процессором, и если он не соответствует эталону, то специальный механизм удаления (пневмоклапан или плунжер) выталкивает зерно из общего потока [5, 2]. В сепараторе Ф-5 две видеокamеры, расположенные с двух сторон зоны контроля, с помощью двух осветителей, состоящих из множества диодов, создают трехмерное изображение каждого семени, которое оценивается по всем необходимым параметрам: цвет, форма, состояние поверхности.

Одновременно в зону контроля попадет до 96 семян – столько же пневмоклапанов готовы выбросить некондиционное семя из потока. Весь процесс оценки и принятия решения занимает сотые доли секунды. Подающий лоток имеет ширину 0,5 м, а производительность машины составляет 5 т зерна в час. Фотозлектронный сепаратор Ф-5 создан по модульному принципу, его агрегаты можно соединять «парно» и таким образом удвоить производительность.

Решением задачи контроля скрытых повреждений и недостатков является автоматическая система рентгенографического контроля и сепарации семян, состоящая из мощной ЭВМ и программного обеспечения, которое имеет математическое описание анатомических и морфологических дефектов очищаемого продукта [3].

Недостатками данной разработки по опыту работы с макетом являются:

1. Сепарация объектов за один проход всего на две фракции «плохие» и «хорошие»;
2. Недостаточная производительность передачи потоков данных.

Дело в том, что механизм выгаликивания семян рассчитан только на работу в один канал отходов, поэтому нет возможности проводить сортировку на более чем две фракции. В то же время идет огромный поток информации – это множество фотографий очищаемого объекта с большим разрешением, которую очень сложно быстро сжать, не потеряв при этом нужную информацию. Пока таких мощных микропроцессоров и совершенных алгоритмов сжатия информации нет.

Макет хорошо зарекомендовал себя на сепарации семян подсолнечника и различных орехов небольшого размера (фундук, кедровый орех). В этих культурах макет сепаратора с высокой эффективностью проводит разделение по показателю выполненности ядра ореха или семян подсолнуха и их повреждения плесенью.

Рентгеновая сепарация базируется на принятии решения по каждой зерновке (каждому семени). Это требует разработки принципиально новых подходов в принятии решения на основе анализа одновременно большого числа зерновок, технологии передачи материала и схемы управления.

Для обеспечения требуемой пропускной способности рентгенсепаратора в конструк-

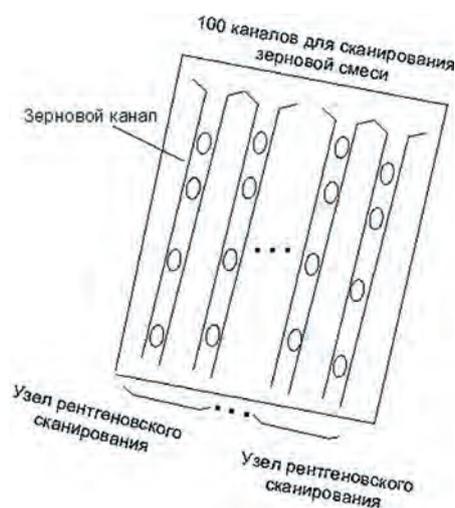


Рис. 2. Принципиальная схема работы рентгеновского сепаратора



Рис. 3. Схема организации потоков сканирования

ции может применяться распределенная многоматричная система приема-передачи зерновок и их сканирования «рентгеном».

Управление сепаратором должно реализовываться системой контроллеров, состоящей из: контроллера общего управления, контроллеров графической идентификации и контроллера управления движением. Контроллеры графической идентификации должны соединяться по конвейерной схеме с контроллером управления движением.

Предлагаемая схема организации сканирования промышленного сепаратора предусматривает организацию многоканальных потоков. Диагностика нескольких из них охватывается одним рентгеновским излучателем.

Режимы работы сепаратора устанавливаются органами управления с компьютерного пульта прибора. Состояние оборудования прибора и его исполнительных механизмов высвечивается на мониторе.

В режимах обработки (сепарации и диагностики) каждой контролируемой партии должен создаваться паспорт, включающий в себя:

- идентификационный номер;
- фиксацию времени получения материалов;
- время проведения контроля;
- количество зерен или семян, прошедших контроль, каждому из установленных признаков присваивается номер приемника материала (для режима сепарации);
- установление числа объектов с установленными признаками;
- количество неидентифицируемых объектов.

Таким образом, уже сегодня возможна комплексная оценка качества и сепарация в одном устройстве с созданием электронного протокола по множествам характеристик. Но решать, куда направить то или иное отобранное зерно, семена, орехи или другую продукцию, пока остается за человеком.

Литература

1. Архипов М.В., Потрахов Н.Н. Микрофокусная рентгенография растений. СПб.: Технолит, 2008. – 192 с.
2. Белецкий С.Л. Оптическое сепарирование зерна и продуктов его переработки [Текст]: Специалистам на заметку / С.Л. Белецкий // Теория и практика длительного хранения. ФГБУ НИИПХ Росрезерва. 2014. - №4(28). - С.55-58.
3. Белецкий С.Л. Развитие и актуальность рентгенографического анализа качества товарного зерна и семян [Текст]: Специалистам на заметку / С.Л. Белецкий // Теория и практика длительного хранения. ФГБУ НИИПХ Росрезерва. 2015. - № 1 (29). - С. 114-115.
4. Белецкий С.Л. Лазерное сепарирование зерна и продуктов его переработки – дальнейшее развитие оптической сепарации [Текст]: Технологии XXI века / С.Л. Белецкий // Теория и практика длительного хранения. ФГБУ НИИПХ Росрезерва. 2015. № 2 (30).. - С. 48-50.
5. Чиркова Л.В., Белецкий С.Л. Сепарирование по цвету // Хлебопродукты. 2005. - №5. - С.42.
6. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vselmash.ru>.
7. Яцевич Г.В., Дулаев В.Г. Получение и размол фракций зерна пшеницы различной плотности и стекловидности Труды ВНИИЗ. – 1988. – № 110. – С. 42-48.