

## Тенденции развития технических средств очистки и сортирования семян сельскохозяйственных культур

*В.Г. Хамуев<sup>1</sup>, М.Н. Московский<sup>1</sup>, К.В. Лепешкин<sup>1</sup>, К.В. Громов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва*

*<sup>2</sup>Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону.*

**Аннотация:** Научные исследования по определению оптимального сочетания технических средств в системе очистки и сортирования семян. Нами был проведен системный анализ современного состояния технических средств очистки и сортирования. Основной задачей перспективных научно-исследовательских работ является разработка высокоточного компьютерного сортировщика семян с электронно-оптическим анализатором их свойств, включая внутреннюю структуру семян. Основным результатом применения комплекса технических средств электронно-оптической очистки и сортировки семян в селекции и семеноводстве зерновых культур, является повышение их урожайности.

**Ключевые слова:** семена, очистка, сортировка, фотосепаратор, рентгенография, ИК-спектроскопия, Раман-спектроскопия.

### Введение.

Ускорение сортосмены является большим резервом повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Материально-технический уровень производства семян влияет на увеличение сроков сортосмены и, безусловно, проникновение в растениеводство, в частности в послеуборочную обработку семян, современных цифровых технологий, а также достижений в области мехатроники и роботизации, приведет к новым технологическим процессам, предопределяя лидирующие позиции РФ по крайней мере в производстве зерна [1-3].

**Целью исследований** является обоснование необходимости использования комплекса технических средств компьютерной (интеллектуальной) электронно-оптической очистки и сортировки семян различных культур по сортовой принадлежности, высокой биологической продуктивности, а также санитарной и фитосанитарной чистоте, определить возможность их применения в существующих технологиях послеуборочной обработки семян.

### Материалы и методы.

Существующие традиционные технические средства очистки и сортирования семян сельскохозяйственных культур не в полной мере справляются с задачей подготовки хороших семян.

Семена должны соответствовать ГОСТ Р 52325-2005 «Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества. Общие технические условия», согласно, которому сортные и посевные качества семян определяются пятью показателями: всхожестью, содержанием семян других растений, чистотой, поражением головней и сортовой чистотой. Даже в условиях высокой культуры земледелия из выращенного семенного материала не всегда возможно получение полноценных, высокоурожайных семян путем очистки и сортировки по размерам (решетами и триерами), скорости витания (пневмосепаратором) и другим применяемым признакам (Рис. 1) с помощью известных сепарирующих устройств (Табл. 1). Так, например, технических средств, производящих очистку по сортовой принадлежности, до сих пор не существует [5].

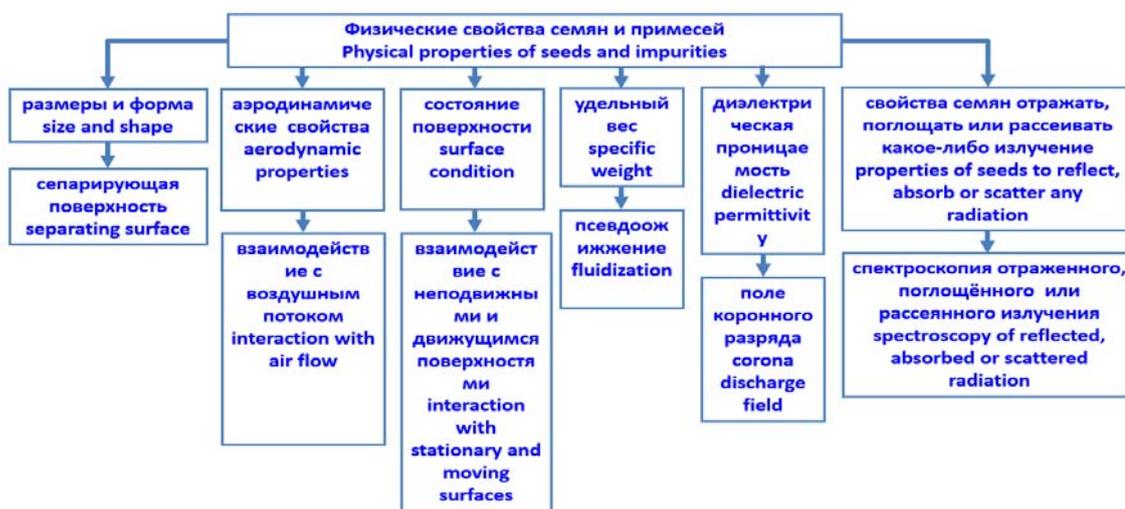


Рисунок.1. – Признаки разделения семян

Таблица 1.  
 Система машин для механизации очистки и сортирования семян зерновых культур в селекции.



Этапы селекционных работ Stages of breeding works	Сепарация воздухом Separation by air	Сепарация на решетках Separation on sieve	Сепарация на триере Separation on the triere	Сепарация на пневмостоле Separation on the pneumatic table
I	Пневмокласификатор Pneumoclassifier	Набор лабораторных решет Set of laboratory sieves	-	-
II	Лабораторный воздушно-решетно-триерный сепаратор (производ. до 90 кг/ч) Laboratory air-sieve-triere separator (productivity up to 90 kg/h)			-
	Пневмосепаратор (производ. – до 100 кг/ч) Pneumatic separator (productivity up to 100 kg/h)	Решетный виброкласификатор Sieve vibration classifier	Триер лабораторный (производ. до 90 кг/ч) Trier laboratories (productivity up to 90 kg/h)	
III	Воздушно-решетная машина (производ. до 150 кг/ч) Air-sieve machine (productivity up to 150 kg/h)		Триер непрерывного действия (производ. до 120 кг/ч) Continuous Trier (productivity up to 120 kg/h)	Пневм. сортир. стол (произв. 200 кг/ч) Gravity separator (productivity 200 kg/h)
	Пневмосепар. маш. (производ. до 500 кг/ч) Pneumatic separating machine (productivity up to 500 kg/h)	Семяочистительные решета (производ. до 150 кг/ч) Seeds cleaning sieves (productivity up to 150 kg/h)		
IV	Пневмосепар. маш. (производ. 500...1000 кг/ч) Pneumatic separating machine (productivity 500...1000 kg/h)	Решетная машина (производ. 500...1000 кг/ч) Sieve machine (productivity 500...1000 kg/h)	Триер непрерывного действия (производ. 500...1000 кг/ч) Continuous Trier (productivity 500...1000 kg/h)	Пневмат. сортир. стол (произв. 500...1000 кг/ч) Gravity separator (productivity 500...1000 kg/h)

Сортовая чистота семян (чистосортность) – содержание семян определенного сорта в семенной партии, выраженное в процентах, определяется при апробации сортовых семян перед уборкой, а также по морфологическим признакам семян в лаборатории. Однако визуально сортовую чистоту многих сельскохозяйственных растений зачастую определить затруднительно. В таких случаях для идентификации сортовой чистоты семян используют метод электрофореза запасных белков [6]. Метод инвазивный, трудоёмкий и длительный, что определяет его невозможность применения в технических средствах очистки и сортировки.

Стоит обратить внимание на свойства семян отражать, поглощать и рассеивать какое-либо излучение. Семена различных культур, отличаются друг от друга по окраске (цвету). Из-за различной окраски они неодинаково отражают световые лучи (видимый спектр электромагнитного излучения). Эта особенность использована в качестве признака делимости в фотосепараторах (SATAKE (Япония), Sortex (Великобритания), Wesort (Китай), CSort LLC (Россия), ООО Смарт Грэйд (Россия) и др.).

Современные фотосепараторы воспринимают цвет через три длины волн (красный, зеленый и синий) RGB, позволяя сортировщику сравниться в

способности глаза видеть истинный цвет, а также RGB + Shape (распознавание цвета и формы), кроме того используются ИК-излучение с технологией InGaAs и LED технологию для многоволнового освещения. Для анализа сортировочных объектов применяется адаптивная нейро-нечеткая система вывода (adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS)), которая позволяет решить задачи, ранее считавшиеся невозможными, например, сортировка по яркости продукта или примеси, форме, размеру, цветности, пятнистости и т. д.

Выявление и анализ скрытых, внутренних повреждений семян, особенно патологических изменений форм эндосперма и зародыша (вмятины, неупругие деформации, болезни и т.д.) может позволить рентгенографический метод [7, 8]. При анализе проводится количественная оценка по отношению площади эндосперма (зародыша), затронутой патологическими изменениями, к общей площади эндосперма (зародыша), выраженному в процентах, а также подсчет числа трещин эндосперма, не дифференцируя их по размеру. Анализ зародыша также предполагает выявление проросших семян. Этот метод закладывается в некоторые фотосепараторы (X-RAY Смарт Грэйд (Россия)).

Спектры отражения, поглощения или рассеяния несут чрезвычайно богатую информацию о составе и свойствах исследуемого объекта. Сопоставляя спектр образца со спектрами известных веществ, можно идентифицировать неизвестное вещество, определить основной состав пищевых продуктов, полимеров, обнаружить примеси в атмосферном воздухе и газах, провести фракционный или структурно групповой анализ [9].

В сепараторах получило использование ИК-спектров поглощения, которые возникают в результате поглощения ИК-излучения при прохождении его через вещество (SATAKE (Япония), Смарт Грэйд (Россия)). Для количественного анализа образца необходимо знать зависимость между интенсивностью поглощения и концентрацией компонента или свойством образца.

Предварительное определение зависимости между показателем поглощения и концентрацией компонента или свойством образца называется калибровкой. Если значения определяемых компонентов лежат вне диапазона значений концентрации свойств калибровочного набора, необходимо либо провести докалибровку, либо провести анализ методом экстраполяции, что приводит к увеличению погрешности анализа. Погрешность анализа зависит от погрешности спектрального анализа и погрешности, связанной с построением калибровочной модели [10].

Спектроскопия комбинационного рассеяния света или Раман-спектроскопия одно из перспективных направлений для определения сортовых признаков семян и их подлинности. Сущность комбинационного рассеяния света (КРС) состоит в появлении в спектре рассеянного света новых частот, являющихся комбинациями частот падающего излучения и собственных частот молекулы (колебательных и вращательных). Число и расположение появляющихся линий (называемых комбинационными линиями) определяется молекулярным строением вещества [11]. Рамановская спектроскопия имеет значительные преимущества по сравнению с другими аналитическими методами. Важнейшими из них являются простота пробоподготовки и большой объем получаемой информации. Толщина образца не вызывает проблем для Раман-спектроскопии (в отличие от ИК-спектроскопии при анализе образцов на пропускание), также окружающая атмосфера вносит незначительный вклад в Раман спектры. Поэтому не требуется вакуумирование или осушка кюветного отделения для образцов. Стекло, вода, и пластиковая упаковка сами по себе имеют очень слабые рамановские спектры, что еще более упрощает использование метода. Более того, не существует двух молекул, которые имеют одинаковые Рамановские спектры, а интенсивность рассеянного света связана с количеством вещества. Это позволяет просто получать как количественную, так и качественную информацию об образце, дает возможность интерпретировать спектр, пользоваться библиотекой спектров, обраба-

тывать данные с применением компьютерных методов количественного анализа.

В Республике Корея были проведены исследования методом гиперспектральной визуализации комбинационного рассеяния, чтобы отличить зараженные бактериями семена от здоровых семян в качестве быстрого, точного и неразрушающего средства обнаружения [12]. Используя спектральный диапазон  $400-1800\text{ см}^{-1}$  для определения оптимального полосового соотношения для различения семян арбуза, инфицированных бактериями *Acidovorax citrulli* (представляет собой грамотрицательные, биотрофные бактерии вызывающие гниль всходов и бактериальную пятнистость плодов). Две полосы при  $1076,8\text{ см}^{-1}$  и  $437\text{ см}^{-1}$  выбраны в качестве оптимальных пиков комбинационного рассеяния для обнаружения зараженных бактериями семян (Рис. 2).

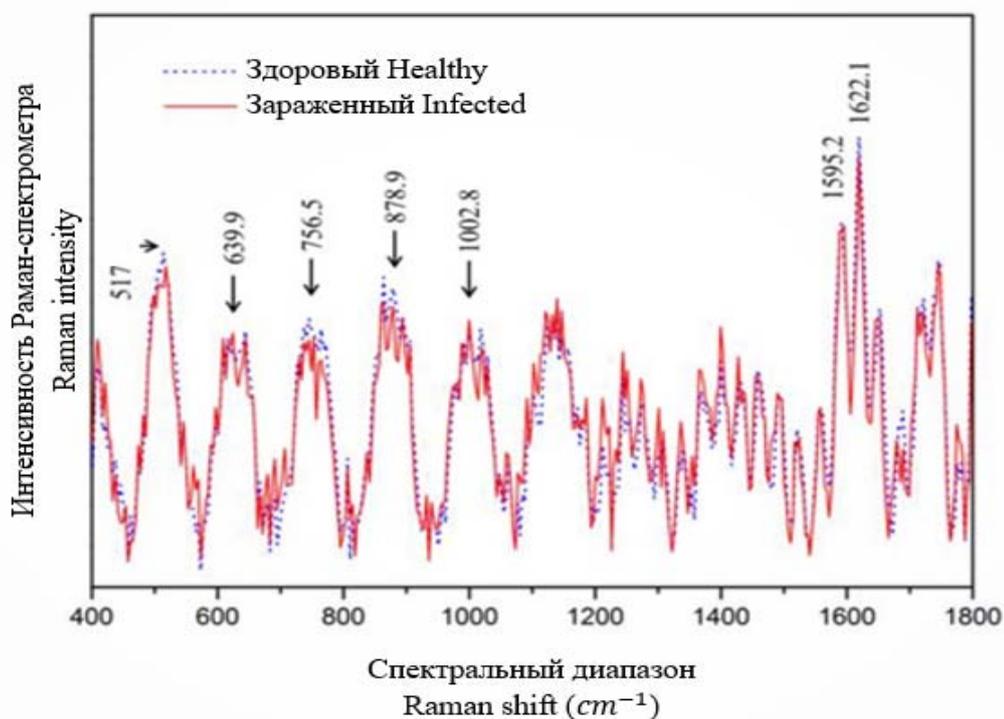


Рисунок. 2. – Средние скорректированные спектры комбинационного рассеяния бактерий-инфицированных и здоровых семян арбуза, полученные путем удаления сигнала флуоресценции с использованием полиномиального уравнения

## Результаты и обсуждения.

Анализ современного состояния технических средств очистки и сортирования показал, что основной задачей перспективных научно-исследовательских работ является разработка высокоточного компьютерного сортировщика семян с электронно-оптическим анализатором их свойств, включая внутреннюю структуру семян.

Наиболее важная перспектива использования в разрабатываемом сортировщике:

- спектральный анализ поглощённого или рассеянного семенем электромагнитного или лазерного индуцированного излучений;
- рентгенографический способ оценки различных частей семени, таких как зародыш, эндосперм, а также поврежденные и неповрежденные его участки, по разному поглощать рентгеновское излучение.

Преимущества методов заключается в том, что с их помощью можно оценить чистосортность и биологическую полноценность семян при полном сохранении самих семян. Данные преимущества важны при работе с малыми партиями селекционных или коллекционных семян. С помощью методов спектроскопии и рентгенографии, благодаря их неразрушающему (неинвазивному) характеру, можно изучить внутреннюю структуру семян, сохранив при этом весь материал для посева.

Для автоматической сепарации семян необходимо иметь банк спектроскопии разных сортов и рентгеновских изображений неполноценных семян по каждой культуре, а также технические средства по распознаванию изображения каждого семени в потоке и способа удаления дефектных семян из этого потока. Принципиальная возможность создания таких технических средств доказана на примере фотосепаратора, а банк изображений может быть создан на базе определенных методик. В конечном итоге, создание

компьютерных сортировщиков позволит отбирать для посева семена с высокими посевными и продуктивными свойствами.

### **Выводы.**

Основным результатом применения комплекса технических средств электронно-оптической очистки и сортировки семян в селекции и семеноводстве зерновых культур, является повышение их урожайности. Использование в первичном семеноводстве, в элитно-семеноводческих хозяйствах предприятий послеуборочной обработки семян, оснащенных новыми техническими средствами очистки, позволит увеличить до необходимых размеров объем производства семян новых сортов. За счет ускоренной сортосмены и внедрения новых сортов повышение урожайности будет обеспечиваться в течении 8-10 лет после начала внедрения новых сортов, а максимум через 3-4 года. Гарантированное повышение урожайности за один цикл сортосмены составит не менее 2,5 ц с гектара.

### **Литература.**

1. Shogenov Yu.Kh., Izmailov A.Yu., Romanovsky Yu.M. Effects of locally applied low-intensity electromagnetic infrared and millimeter radiation on plants // Russian Agricultural Sciences. 2016. Vol. 42. №6. pp. 435-438.
2. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е. Механизация селекционно-опытной работы // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2016. N4. С. 4-9.
3. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. №6. С. 6-10.
4. Московский М.Н., Бойко А.А. Сравнительная оценка макроповреждений зерна пшеницы, при вариации схем семенной очистки в отделе-

нии зерноочистительного агрегата // Инженерный вестник Дона, 2014, №1  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2264](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2264).

5. Московский М.Н., Бойко А.А. Обоснование различных схем очистки зерноочистительного агрегата, при получении семенного материала в многоотраслевом сельхозпроизводстве // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1625](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1625).

6. Raymond S., Weintraub L. Acrylamide gel as a supporting medium for zone electrophoresis. Science. Washington, D.C., USA: American Association for the Advancement of Science, 1959. Vol. 130, no. 3377. P. 711.

7. Нино В. П., Грязнов А. Ю., Потрахов Е. Н., Потрахов Н. Н. Рентгенодиагностическая установка для экспресс-контроля качества // Пищевая промышленность. 2008. №5. С. 18–19.

8. Grundas S., Velikanov L., Arkhipov V. Importance of wheat grain orientation for the detection of internal mechanical damage by the X-ray method // Int. Agrophysics. 1999. №13. pp. 355–361.

9. Ельяшевич, М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Наука, 1962. 892 с.

10. Bernath P. F. Infrared emission spectroscopy // Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C: Phys. Chem. 2000. Vol. 96. pp. 177—224.

11. Larkin P. J. Infrared and raman spectroscopy: principles and spectral interpretation. — Elsevier, 2011. — 230 p.

12. Hoonsoo Lee, Moon S. Kim, Jianwei Qin, Eunsoo Park, Yu-Rim Song, Chang-Sik Oh, and Byoung-Kwan Cho — Sensors (Basel), 2017 Oct; 17(10): 2188 — Published online 2017 Sep 23.

### References

1. Shogenov Yu.Kh., Izmailov A.Yu., Romanovsky Yu.M. Russian Agricultural Sciences. 2016. T. 42. №6. pp. 435-438.

2. Izmajlov A.Ju., Evtjushenkov N.E. Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2016. №4. pp. 4-9.



3. Izmajlov A.Ju., Lobachevskij Ja.P. Sel'skohozyajstvennyye mashiny i tehnologii. 2013. №6. pp. 6-10.
4. Moskovskij M.N., Bojko A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2264](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2264).
5. Moskovskij M.N., Bojko A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1625](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1625).
6. Raymond S., Weintraub L. Washington, D.C., USA: American Association for the Advancement of Science, 1959. Vol. 130, no. 3377. P. 711.
7. Nino V. P., Grjaznov A. Ju., Potrahov E. N., Potrahov N. N. Pishhevaja promyshlennost'. 2008. №5. pp. 18–19.
8. Grundas S., Velikanov L., Arkhipov V. Int. Agrophysics. 1999. №13. pp. 355–361.
9. El'jashevich, M.A. Atomnaja i molekuljarnaja spektroskopija. [Atomic and molecular spectroscopy] M.: Nauka, 1962. 892 p.
10. Bernath P. F. Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C: Phys. Chem. 2000. Vol. 96. pp. 177—224.
11. Larkin P. J. Elsevier, 2011. 230 p.
12. Hoonsoo Lee, Moon S. Kim, Jianwei Qin, Eunsoo Park, Yu-Rim Song, Chang-Sik Oh, Byoung-Kwan Cho. Sensors (Basel), 2017 Oct; 17(10): 2188 — Published online.