

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.53

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-258-4-73-82

Ю.Ж. Дондоков, Н.И. Стрикунов, В.М. Дринча,
А.М. Харламов, Д.Н. Никаноров, Н.Е. Слепцов
Yu.Zh. Dondokov, N.I. Strikunov, V.M. Drincha,
A.M. Kharlamov, D.N. Nikanorov, N.E. Sleptsov

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНЫХ ПНЕВМОСЕПАРАТОРОВ С ПОРЦИОННОЙ ЗАГРУЗКОЙ СЕМЯН

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF LABORATORY PNEUMATIC SEPARATORS WITH BATCH LOADING OF SEEDS

Ключевые слова: семена, пневмосепарация семян, лабораторный пневмосепаратор семян с непрерывной загрузкой, скорость витания семян, аэродинамические свойства семян, эффективность сепарации семян, чистота семян, регулирование скорости воздушного потока в пневмоканале.

Приведен анализ лабораторных пневмосепараторов (ЛП) семян, применяемых в отечественном и зарубежном семеноводстве. Обоснована необходимость повышения эффективности сепарации семян в ЛП. Разработана классификация лабораторных пневмосепараторов семян с порционной загрузкой семян (ЛППЗ), проведен детальный анализ технологических процессов и конструктивных схем, наиболее часто применяемых в мировой практике ЛППЗ. В разработанной классификации основным признаком является способ образования воздушного потока в пневмосепарационных каналах. В странах с развитым семеноводством наиболее широкое применение находят ЛППЗ с нагнетающим воздушным потоком. В лаборатории кафедры технологических систем АПК (ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ) разработан ЛППЗ, включающий верхнюю загрузку семян (без загрузочной семенной кассеты). Проведены предварительные эксперименты по выявлению потенциальных возможностей пневмосепарации семян, выращенных в условиях РС(Я). Установлено, что одной из наиболее важных технологических проблем, ограничивающих повышение эффективности, в частности, воспроизводимости результатов пневмосепарации в ЛППЗ, является витание семян в пневмоканалах в больших диапазонах по высоте канала, причем

одни и те же семечки могут витать в каком-то диапазоне скоростей воздушного потока. Обоснованы основные требования, которым должны удовлетворять ЛППЗ: при обработке небольших объемов образцов семян высокая точность пневмосепарации семенных смесей на ЛППЗ достигается в пневмоканалах с меньшими диаметрами. Выявлено, что перспективным направлением развития ЛППЗ является разработка сепараторов, позволяющих обрабатывать образцы семян в непрерывном потоке. Особое внимание должно быть уделено повышению воспроизводимости результатов сепарации (не менее 80%).

Keywords: seeds, pneumatic seed separation, laboratory pneumatic seed separator with continuous loading, speed hovering velocity, seed aerodynamic properties, efficiency of seeds separation, seed purity, control of air flow rate in pneumatic channel.

Laboratory pneumatic seed separators used in domestic and foreign seed production are studied. The need to increase the efficiency of seed separation in laboratory pneumatic separators is substantiated. The classification of laboratory pneumatic seed separators with batch loading was developed; detailed analysis of technological processes and structural schemes of the most frequently used laboratory pneumatic seed separators with batch loading was made. In the developed classification, the main feature is the method of air flow formation in pneumatic separation channels. In countries with developed seed production, the most widespread ones are pneumatic seed separators with batch loading with discharge flow. In the Laboratory of the Department of Technological Systems of the Agro-Industrial Com-

plex (Arctic State Agro-Technological University), a pneumatic seed separator with batch loading was developed featuring upper seed loading (without a loading seed cassette). Preliminary experiments were conducted to identify the potential for pneumatic separation of seeds grown in the Republic of Sakha (Yakutia). It was found that one of the most important technological problems limiting the increase of efficiency, and in particular, the reproducibility of the results of pneumatic separation in pneumatic seed separators with batch loading, was seed hovering in pneumatic channels in large ranges along the height of the channel, and the same kernels

may hover in some range of air flow velocity. The basic requirements that pneumatic seed separators with batch loading should meet were substantiated. When processing small volumes of seed samples, high accuracy of pneumatic separation of seed mixtures in pneumatic seed separators with batch loading was achieved in pneumatic channels with smaller diameters. It was found that a promising direction of seed separator with batch loading development was the development of separators that enabled processing seed samples in a continuous flow. Particular attention should be paid to increasing the reproducibility of separation results (at least 80%).

Дондоков Юрий Жигмитович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ, г. Якутск, Российская Федерация, e-mail: ooo-centaurus@mail.ru.

Стрикунов Николай Иванович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: strikunov555@mail.ru.

Дринча Василий Михайлович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ, г. Якутск, Российская Федерация, e-mail: vdrincha@yandex.ru.

Харламов Айсен Михайлович, аспирант, ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ, г. Якутск, Российская Федерация, e-mail: zzzomboid@mail.ru.

Никаноров Дылустан Николаевич, аспирант, ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ, г. Якутск, Российская Федерация, e-mail: exposkills@mail.ru.

Слепцов Николай Егорович, аспирант, ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ, г. Якутск, Российская Федерация, e-mail: slne007@inbox.ru.

Dondokov Yuriy Zhigmitovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Arctic State Agro-Technological University, Yakutsk, Russian Federation, e-mail: ooo-centaurus@mail.ru.

Strikunov Nikolay Ivanovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: strikunov555@mail.ru.

Drincha Vasily Mikhaylovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Arctic State Agro-Technological University, Yakutsk, Russian Federation, e-mail: vdrincha@yandex.ru.

Kharlamov Aysen Mikhaylovich, post-graduate student, Arctic State Agro-Technological University, Yakutsk, Russian Federation, e-mail: zzzomboid@mail.ru.

Nikanorov Dylustan Nikolaevich, post-graduate student, Arctic State Agro-Technological University, Yakutsk, Russian Federation, e-mail: exposkills@mail.ru.

Sleptsov Nikolay Egorovich, post-graduate student, Arctic State Agro-Technological University, Yakutsk, Russian Federation, e-mail: slne007@inbox.ru.

Введение

Лабораторные пневмосепараторы (ЛП) применяются главным образом для сепарации семенных материалов (СМ) по аэродинамическим свойствам в селекции и семеноводстве.

Селекция растений и семенные технологии – это два основных направления улучшения сельскохозяйственных растений. Основная задача селекции растений – обеспечить растениеводо- качественные семенами новых улучшенных сортов в достаточном количестве.

Однако научные достижения селекции будут малополезны, если у хозяйств не будет доступа к семенам выведенных сортов, которые являются генетически чистыми, физиологически здоровыми (всхожесть, жизнеспособность), свободными от физических примесей и болезней, передающихся через семена.

Обеспеченность населения безопасными продуктами питания во многом зависит от скорости, с которой возможно размножение каче-

ственных семян высокопродуктивных сортов растений с требуемыми свойствами.

ЛП в селекции и семеноводстве применяют, главным образом, при определении чистоты семян, а также при отборе полноценных и более продуктивных семян из отдельных партий семян.

Анализ чистоты СМ заключается в определении количества семян основной культуры и процентного содержания каждого компонента СМ по весу: а именно, чистых семян, семян других культурных растений, семян сорняков и инертных органических и минеральных примесей. С целью повышения производительности процесса анализа чистоты семян ЛП применяют для выделения легких примесей и по мере возможности других компонентов СМ.

Согласно Международным правилам по испытанию семенного материала (ISTA) при определении чистоты семян допускаются отклонения от реальных значений в пределах 0,6-5,6% в

зависимости от чистоты СМ, соответственно, от 100 до 50% (рис. 1) [1].

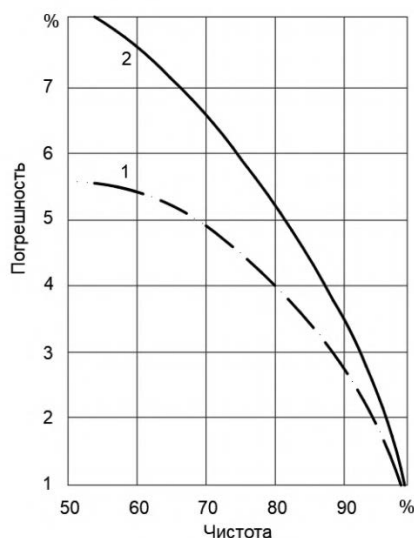


Рис. 1. Зависимости допускаемых погрешностей определения чистоты семенного материала:
1 – для легкосыпучих семян трав;
2 – для трудносыпучих семян трав

Определение чистоты семян необходимо и при исследовании их на всхожесть, поэтому анализ чистоты и тест на всхожесть семян дополняют друг друга. Фактическую продуктивность партии семян можно определить только при совместном рассмотрении анализа чистоты и анализа на всхожесть.

Снижение погрешности при анализе чистоты семян и их всхожести требует применения ЛП с высокой воспроизводимостью результатов сепарации.

Анализ ЛП показывает, что по конструктивно-технологическим признакам они подразделяются на два основных класса: с порционной и непрерывной загрузкой СМ [2, 3]. Выбор данной классификации ЛП является рациональным, так как именно способ подачи в пневмоканал ЛП оказывает существенное влияние на сам технологический процесс. При порционной загрузке сепарация СМ происходит дискретно, а при непрерывной загрузке непрерывно. Особенностью ЛП с порционной загрузкой (ЛППЗ) состоит в том, что они могут сепарировать образцы семян весом менее 5 г, в то время когда ЛП с непрерывной загрузкой применяют при сепарации партий семян, обычно превышающих 1 кг.

В отечественных селекционно-семеноводческих хозяйствах наиболее широкое распространение получили ЛП с непрерывной загруз-

кой материала фирмы Петкус (Германия) К-293 [4, 5]. Это объясняется тем, что они входили в комплект с семеноводческими комплексами для обработки семян трав КОС-0,5 и КОС-1,5, которые массово поставлялись в централизованном порядке в доперестроечном периоде. Однако применение этих сепараторов для очистки малых образцов семян (5 г) является неэффективным.

Целью исследования анализ конструктивно-технологических параметров ЛППЗ и обоснование основных положений их разработки для применения в селекции и семеноводстве.

В отечественном семеноводстве, а также в лабораториях НИУ наибольшее распространение получил ЛППЗ с всасывающим воздушным потоком, разработанный А.С. Матвеевым в 60-х годах прошлого века (рис. 2) [6, 7]. Отличительной особенностью данного ЛППЗ является возможность выделения не только легких примесей, но также и определения аэродинамического свойства семян, в частности скорости витания, так как он оснащен газовым ротаметром, позволяющим определять скорость воздушного потока в пневмоканале.

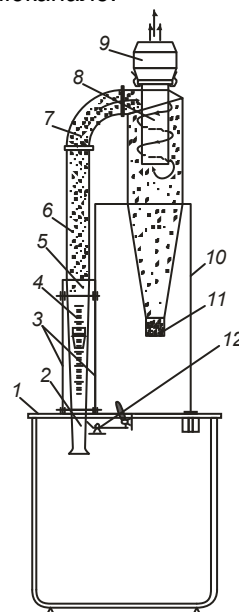


Рис. 2. Схема ротаметрического лабораторного пневмосепаратора с порционной загрузкой РПК-30

ЛППЗ включает рабочий стол 1, на котором в нижней части расположен впускной воздушный коллектор 2, предназначенный для уменьшения потерь давления и выравнивания поля скоростей. На вертикальных стойках 3 расположен газовый ротаметр 4, в верхней части которого размещены загрузочная кассета для семян 5 и

стеклянная трубка 6 (пневматический канал), который при помощи колена 7 соединен с циклоном 8. Над циклоном размещен вытяжной вентилятор 9, а в нижней части циклона установлен приемный пластиковый стаканчик для семян 11. Ротаметр 4 поддерживается с помощью стойки 10. Ротаметр 4 выполнен с возможностью перемещения по вертикали за счет механизма 12, что необходимо для изъятия стаканчика 14 и загрузки его порцией семян.

Недостатком данного ЛППЗ является ограниченная эффективность пневмосепарации семян, так как в некоторых диапазонах скоростей воздушного потока в пневмоканале могут возникать автономные колебания скорости воздушного потока, обусловленные природой всасывающего воздушного потока. Кроме того, закрытость конструкции воздухо-отделительного устройства (циклона) усложняет визуальное наблюдение за процессом, особенно при сепарации мелкосемянных культур с низкой объемной массой, например, мятлика лугового.

В зарубежном семеноводстве широкое применение находят конструкции ЛППЗ с нагнетающим воздушным потоком с упрощенной конструкцией (рис. 3).

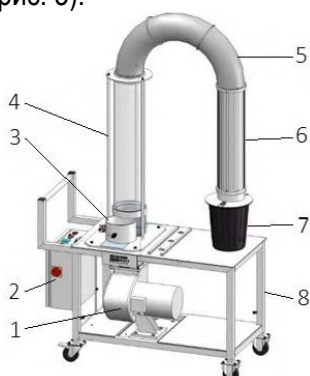


Рис. 3. Лабораторный пневмосепаратор семян с порционной загрузкой и с нагнетающим воздушным потоком

Данный ЛППЗ включает: центробежный вентилятор 1, панель управления 2, кассету с сетчатым дном для семян 3, вертикальный пневмоканал 4, выполненный из прозрачного пластика, U образное колено 5, патрубков 6, осадительную корзину 7 и передвижной столик 8.

Исходная порция семян закладывается в кассету 3, где пронизывается нагнетающим восходящим потоком воздуха. По мере увеличения скорости потока за счет увеличения частоты вращения вентилятора 1 легкая фракция семян увлекается воздухом и осаждается в корзине 7.

Недостатком данной конструкции ЛППЗ является относительно низкая равномерность воздушного потока в пневмоканале, следовательно, и недостаточная эффективность сепарации небольших партий семян. Кроме того, конструкция совершенно неудобна при сепарации небольших партий легких семян, например, мятлика лугового (до 5 г).

В настоящее время в Северной Америке, а также в странах с высоким уровнем семеноводства для сепарации небольших образцов семян применяют ЛППЗ с нагнетающим воздушным потоком. Одним из наиболее распространенных типов этих ЛППЗ является лабораторный пневмосепаратор (South Dakota) (рис. 4) [8].

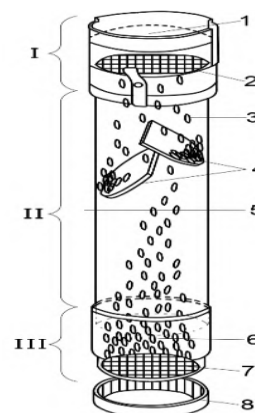


Рис. 4. Схема пневмоканала ЛППЗ (South Dakota)

В верхней части канала I расположен регулировочный дроссель 1 для изменения скорости воздушного потока. Под дросселем 1 установлена ограничивающая сетка 2 легких примесей (предотвращающая вылет семян сверху). В рабочей части пневмоканала II по его высоте витают семянки с разной плотностью: 3 – легкие частицы, 5 – семена со средней плотностью, 6 – тяжелые семена. Под сеткой 2 с зазором по отношению друг к другу установлены противоположно уловители легких фракций семян 4. В нижней части пневмоканала III установлена семенная кассета 7 с поддерживающей сеткой. Пневмоканал в рабочем положении устанавливается в кольцо 8.

Преимуществами данного ЛППЗ являются простота конструкции и удобство при использовании в лабораторных условиях, так как процесс сепарации легко наблюдать визуально и практически отсутствуют потери сепарируемых семян (зависание в конструкции), что имеет обычно место в осадочных устройствах при сепарации легких семян трав. Недостаток – относи-

тельно низкая производительность при сепарации образцов семян, содержащих значительную долю легких примесей или при обработке нескольких партий семян.

В последнее время в США и Китае выпускаются усовершенствованные ЛППЗ (South Dakota), включающие дополнительно установленные два осадочных стаканчика легкой фракции, что позволяет существенно повысить производительность и удобство в работе (рис. 5).



Рис. 5. ЛППЗ (South Dakota) с двумя осадочными стаканчиками (CFY-3, КумаЙ)

ЛППЗ (CFY-3, Англия) включает: шкаф 1, с установленным в нем центробежным вентилятором, регулятор частоты вращения вентилятора 2, семенную чашку 3 с опорной сеткой, муфту пневмоканала 4, левый осадочный стаканчик 5 легких примесей, регулировочный дроссель 6 с ограничивающей сеткой, правый осадочный стаканчик 7 легких примесей, пневмоканал 8.

Среди ЛППЗ особое место по эффективности очистки и универсальности занимает ЛППЗ (Ottawa) с осадочной камерой (рис. 6) [9].

ЛППЗ (Ottawa) включает цилиндрическую осадочную камеру 1. Вместо уловителей легких материалов в данной конструкции используется U-образная трубка 2, сопряженная с пневмоканалом 3, приемный стаканчик легких примесей 4, регулятор частоты вращения вентилятора 5, кассета для исходного образца семян 6, монтажный шкаф 7, дополнительная кассета для исходного образца семян 8 и дополнительный пневмоканал 9.



Рис. 6. ЛППЗ (Ottawa) с осадочной камерой

Отличительная особенность данного ЛППЗ состоит в том, что он опционно комплектуется пневмоканалами с различными диаметрами, что позволяет оптимизировать процесс сепарации разных по объему образцов семян.

Наиболее важными характеристиками, общими для всех трех описанных моделей ЛППЗ, являются следующие:

- пневмосепарация осуществляется за счет нагнетательного движения воздуха, создаваемого центробежным вентилятором;
- в каждом ЛППЗ образец семян (от 1 г) для анализа их чистоты помещается в семенную кассету, дно которой изготовлено из мелкоячеистой сетки (чтобы удерживать семена, но пропускать воздух);
- ЛППЗ включают цилиндрический вертикальный прозрачный пневмоканал (диаметром от 25 до 40 мм и длиной от 45 до 60 мм в зависимости от модели), который вставляется в семенную кассету для исходного образца семян;
- время продувки исходного образца семян составляет около 3 мин.;
- для улавливания легких примесей, выделяемых из смеси семян, применяются уловители или приемник легких примесей.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены путем обобщения литературных источников отечественных и зарубежных исследователей [10-12].

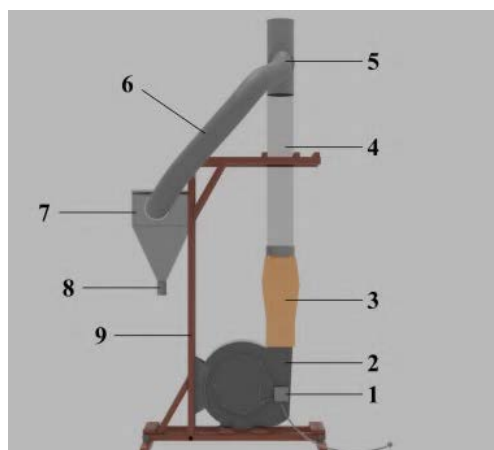
Для практического ознакомления с процессом ЛППЗ и проведения предварительных экспериментов по выявлению потенциальных возможностей пневмосепарации семян, выращенных в условиях РС(Я), в лаборатории кафедры

технологических систем АПК (ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ) разработан ЛППЗ (рис. 7).

Технической особенностью разработанного ЛППЗ явилось то, что исходные образцы семян загружали в пневмоканал порционно, через верхнюю крышку пневмоканала. Это позволило упростить конструкцию ЛППЗ за счет исключения загрузочной кассеты с исходным образцом семян (которая является неотъемлемой частью традиционных конструкций ЛППЗ). При таком исполнении порционную подачу семян в канал можно осуществлять на различных высотах, так как опорную сетку в канале можно легко перемещать по высоте канала.



а



б

Рис. 7. Лабораторный пневмосепаратор с порционной загрузкой семян:
а – общий вид; б – схема: 1 – блок питания;
2 – центробежный вентилятор (PB-500);
3 – переходник; 4 – пневмоканал (Ø 100 мм)
с опорной сеткой; 5 – выходной патрубок
пневмоканала; 6 – соединительный патрубок
циклона и пневмоканала; 7 – циклон;
8 – выход циклона;
9 – рама лабораторного пневмосепаратора

Скорость воздушного потока в пневмоканале разработанного пневмокласификатора измеряли при помощи современного термоанемометра Testo 405 v1.

Эффективность выделения легких примесей из семенных образцов оценивалась их коэффициентом извлечения, полученного на основе формулы Матвеева А.С.:

$$\varepsilon = \frac{A-B}{B} \cdot 100, \quad (1)$$

где ε – коэффициент извлечения, %;

A – вес верхнего выхода, г;

B – содержание тяжелого компонента в верхнем выходе, г;

B – количество легкого компонента в исходном материале, которое может быть выделено воздушным потоком, г.

Потери тяжелой фракции (полезных семян) в легкой фракции (верхнем выходе) оценивались коэффициентом η , %:

$$\eta = \frac{B}{A} \cdot 100. \quad (2)$$

Если при пневмосепарации семенных образцов частицы компонентов смеси можно было выделить воздушным потоком в легкую фракцию, то семена основной культуры принимали в качестве тяжелого компонента.

Все опыты проводились в трехкратной повторности.

Результаты и обсуждение

Для выявления тенденций развития и применения ЛППЗ в селекции и семеноводстве на основании анализа литературных источников за более чем сто лет [13-15] разработана классификация ЛППЗ по конструктивно-технологическим признакам (рис. 8).

Анализ конструкций ЛППЗ показал, что данные пневмосепараторы предназначены для обработки небольших партий семян (от 5 г и даже менее), и то, что они являются самыми точными устройствами или, точнее, приборами для пневмосепарации семян. Их часто применяют не только в селекции и семеноводстве, но и при определении чистоты и всхожести семян, контрольных органах для сертификации семян, а также при оценке других пневмосепараторов, применяемых в технологиях послеуборочной подготовки семян. В разработанной классификации основным признаком является способ образования воздушного потока в пневмосепарационных каналах.

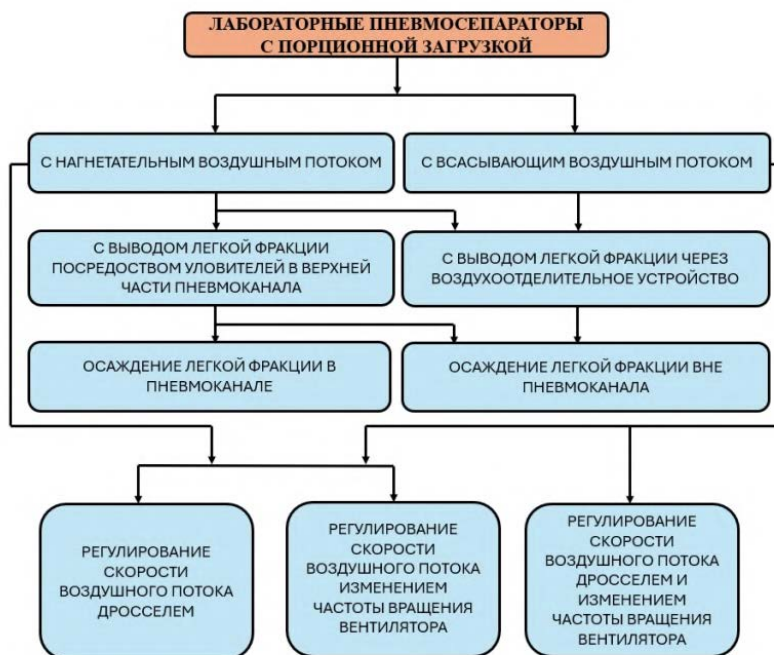


Рис. 8. Классификация лабораторных пневмосепараторов с порционной загрузкой по конструктивно-технологическим признакам

Наиболее распространенным типом конструкций ЛППЗ являются устройства с нагнетающим воздушным потоком.

Предварительные экспериментальные исследования разработанного ЛППЗ с верхней загрузкой семян (рис. 7) подтвердили его работоспособность и позволили выявить потенциальные возможности сепарации семян основных зерновых культур в нагнетающем воздушном потоке, а также основные закономерности поведения семян в канале (рис. 9). С целью улучшения графического представления результатов эксперимента исходное количество семян, которые загружались в пневмоканал, было разным для разных культур.

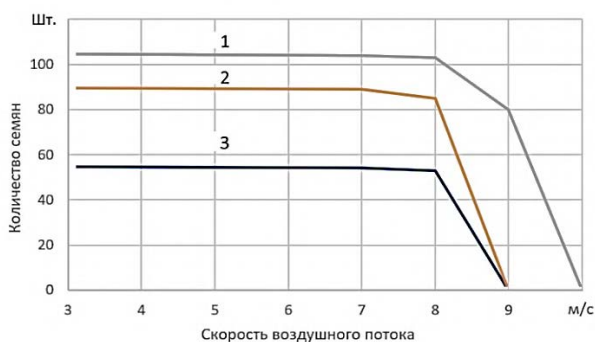


Рис. 9. Зависимость количества семян в разработанном ЛППЗ от скорости воздушного потока: 1 – ячмень; 2 – пшеница; 3 – овес

Графики показывают, что, несмотря на разные аэродинамические свойства разных видов семян, они начинают выделяться воздушным потоком начиная с 8 м/с (рис. 9). При этом семена пшеницы и овса полностью выносились воздушным потоком при скорости 9 м/с, а семена ячменя – при 10 м/с.

Эффективность сепарации определяли при выходе верхней фракции 10%. Коэффициент извлечения легких примесей в проведенных экспериментах составил 60-85%, а потери полноценных семян в верхнем выходе не превышали 5%.

В процессе проведенных экспериментальных исследований на разработанной лабораторной установке было выявлено, что одной из наиболее важных технологических проблем, ограничивающих повышение эффективности, и, в частности, воспроизводимости результатов пневмосепарации в ЛППЗ, является витание семян в пневмоканалах в больших диапазонах по высоте канала, причем величина диапазонов витания семян зависит от комплекса физических свойств самих семян, а также от малейших возмущений воздушного потока в пневмоканалах, которые крайне сложно предотвратить в практике применения ЛППЗ. Причем одни и те же семечки могут витать в каком-то диапазоне скоростей воздушного потока.

Проведенный анализ ЛППЗ, а также собственные экспериментальные исследования позволили обосновать следующие основные требования, которым должны удовлетворять ЛППЗ:

- обеспечение высокой точности сепарации небольших объемов семян (на семенах трав от 1 г);
- исключение потерь семян или других компонентов СМ в конструкции ЛП;
- высокая воспроизводимость результатов при сепарации различных образцов (не менее 80%);
- результаты не должны зависеть от операторов (человеческого фактора);
- работа без пыли и с низким уровнем шума;
- самоочищающаяся конструкция, исключающая загрязнение последующих обрабатываемых образцов семян семенами предшествующего образца;
- время нахождения семян в пневмоканале 3-5 мин.;
- удобство в применении.

Сравнительный анализ двух основных моделей ЛППЗ с всасывающими и нагнетающими воздушными потоками показывает, что ЛППЗ второго типа являются более практичными в применении, а также могут иметь более высокую точность сепарации, так как при нагнетальном воздушном потоке менее вероятное явление автономного колебания зависающих семян в воздушном потоке.

Перспективным направлением развития ЛППЗ является разработка сепараторов, позволяющих обрабатывать образцы семян в непрерывном потоке. При этом особое внимание должно быть уделено повышению воспроизводимости результатов сепарации (не менее 80%).

Заключение

1. ЛППЗ предназначены для сепарации небольших партий семян (от 1 г на семенах трав). Они являются самыми точными устройствами или, точнее, приборами для пневмосепарации семян. Их часто применяют не только в селекции и семеноводстве при определении чистоты и всхожести семян, но и в контрольных органах для сертификации семян, а также при оценке других пневмосепараторов, применяемых в технологиях послеуборочной подготовки семян.

2. В разработанной классификации ЛППЗ основным признаком является способ образова-

ния воздушного потока в пневмосепарационных каналах.

Наиболее распространенным типом конструкций лабораторных пневмосепараторов с порционной загрузкой (ЛППЗ) являются устройства с нагнетающим воздушным потоком.

3. Одной из наиболее важных технологических проблем, ограничивающих улучшение воспроизводимости результатов пневмосепарации в ЛППЗ, является витание семян в пневмоканалах в больших диапазонах по высоте канала, причем величина диапазонов витания семян зависит от комплекса их физических свойств, а также от малейших возмущений воздушного потока в пневмоканалах, которые крайне сложно предотвратить в практике применения ЛППЗ. Причем одни и те же семечки могут витать в каком-то диапазоне скоростей воздушного потока.

4. Высокая точность сепарации различных объемов образцов семян на ЛППЗ достигается при комплектовании их дополнительными пневмоканалами с разными диаметрами. Причем для небольших объемов образцов семян рекомендуется применять пневмоканалы с меньшими диаметрами.

Несмотря на то, что ЛППЗ имеет высокую точность пневмосепарации семян, они находят ограниченное применение в области семеноводства по двум основным причинам: высокая стоимость ЛППЗ и недостаточное понимание важности и технологической эффективности использования высокоточных приборов на всех этапах обращения с семенами.

Библиографический список

1. Лампетер, В. Очистка и сортирование семян трав. – Москва, 1960. – 245 с. – Текст: непосредственный.
2. Проблемы и перспективы разработки лабораторных пневмокласификаторов зерна / Ю. Ж. Дондоков, В. М. Дринча, И. Н. Аммосов [и др.]. – Текст: непосредственный // Чугуновские агроотчетения: сборник материалов XVII Всероссийской научно-практической конференции агротехнологической направленности, посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной войне, Якутск, 2-3 апреля 2025 года. – Якутск, 2025. – С. 301-308.
3. Разработка многофункционального лабораторного пневмокласификатора семян / Ю. Ж. Дондоков, В. М. Дринча, И. Б. Борисенко [и др.]. – Текст: непосредственный // Известия

Нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2025. – № 6 (84). – С. 495-505.

4. Корн, А. М. Сравнительная оценка качества сортирования семян пневмосепараторами / А. М. Корн, Ю. А. Космовским, А. С. Матвеев. – Текст: непосредственный // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства. – Москва, 1970. – Т. 74. – С. 42-46.

5. Космовский, Ю. А. Исследование сепарирующей способности вертикального воздушного потока / Ю. А. Космовский. – Текст: непосредственный // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства. – Москва, 1971. – Т. 55. – С. 43-49.

6. Тиц, З. Л. Новые классификаторы ВИМ / З. Л. Тиц. – Текст: непосредственный // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1958. – № 9. – С. 24-26.

7. Ульрих, Н. Н. Ротаметрический порционный пневмокласификатор / Н. Н. Ульрих, А. С. Матвеев. – Текст: непосредственный // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1963. – № 9. – С. 147-150.

8. Testing Agricultural and vegetable seeds. United States Department of Agriculture. Agricultural Handbook No30, 1952, 441 p.

9. Everson, L.E. (1958). A comparison of methods and blowers for the purity analysis of Kentucky bluegrass seed. Iowa Agr. and Home Econ. Exp. Sta. Res. Bul. 464, 398-407.

10. Бурков, А. И. Разработка и совершенствование пневмосистем зерноочистительных машин: монография / А. И. Бурков. – Киров, 2016. – 380 с. – Текст: непосредственный.

11. Дринча, В. М. Направления производства конкурентоспособной техники для очистки зерна и семян / В. М. Дринча, С. С. Ямпилев. – Текст: непосредственный // Техника и оборудование для села. – 1999. – № 3-4. – С. 10-12.

12. Иванов, Н. М. Технологии и техника для послеуборочной обработки зерна и семян: монография / Н. М. Иванов, Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов; СФНЦА РАН. – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2021. – 277 с. – Текст: непосредственный.

13. Анискин, В. И. Классификация пневмосепараторов зерновых материалов / В. И. Анискин, В. М. Дринча. – Текст: непосредственный //

Достижения науки и техники. – 1993. – № 4. – С. 22-23.

14. Послеуборочная обработка зерна и семян в условиях регионов повышенного увлажнения / В. А. Смелик, М. А. Новиков, А. Н. Перекопский, Л. И. Ерошенко: монография. – Санкт-Петербург: СПб ГАУ, 2023. – 162 с. – Текст: непосредственный.

15. Ульрих, Н.Н. Лабораторные пневмосепараторы / Н. Н. Ульрих, А. С. Матвеев. – Текст: непосредственный // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1972. – № 6. – С. 50-52.

References

1. Lampeter V. Ochistka i sortirovanie semyan trav. Moskva, 1960. 245 s.

2. Dondokov Yu.Zh. Problemy i perspektivy razrabotki laboratornykh pnevmoklassifikatorov zerna / Dondokov Yu.Zh., Drincha V.M., Ammosov I.N., Nikanorov D.N., Sleptsov N.E. // Chugunovskie agrotekhnologicheskoy napravlenosti, posvyashchenoy 80 letiyu Pobedy v Velikoy Otechestvennoy voyne. Yakutsk, 2025. S. 301-308.

3. Dondokov Yu.Zh. Razrabotka mnogofunktsionalnogo laboratornogo pnevmoklassifikatora semyan / Dondokov Yu.Zh., Drincha V.M., Borisenko I.B., Fomin S.D., Kharlamov A.M., Tarasov I.M. // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2025. No. 6 (84). S. 495-505.

4. Korn A.M. Sravnitel'naya otsenka kachestva sortirovaniya semyan pnevmoseparatorami / Korn A.M., Kosmovskimy Yu.A., Matveev A.S. // Trudy VIM. 1970. T. 74. S. 42-46.

5. Kosmovskiy Yu.A. Issledovanie separiruyushchey sposobnosti vertikal'nogo vozdushnogo potoka // Trudy VIM. 1971. T. 55. S. 43-49.

6. Tits Z.L. Novye klassifikatory VIM // Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. 1958. No. 9. S. 24-26.

7. Ulrikh N.N. Rotametricheskyy portsiyonny pnevmoklassifikator / Ulrikh N.N., Matveev A.S. // Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. 1963. No. 9. S. 147-150.

8. Testing Agricultural and vegetable seeds. United States Department of Agriculture. Agricultural Handbook No. 30, 1952, 441 p.

9. Everson, L.E. (1958). A comparison of methods and blowers for the purity analysis of Kentucky

bluegrass seed. Iowa Agr. and Home Econ. Exp. Sta. Res. Bul. 464, 398-407.

10. Burkov A.I. Razrabotka i sovershenstvovanie pnevmosistem zernoochistitelnykh mashin: monografiya. Kirov, 2016. 380 s.

11. Drincha V.M. Napravleniya proizvodstva konkurentosposobnoy tekhniki dlya ochistki zerna i semyan / Drincha V.M., Yampilov S.S. // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 1999. No. 3-4. S. 10-12.

12. Ivanov N. M. Tekhnologii i tekhnika dlya posleuborochnoy obrabotki zerna i semyan: monografiya / N. M. Ivanov, N. I. Strikunov, S. V. Lekanov; SFNTsA RAN. – Novosibirsk: SFNTsA RAN, 2021. – 277 s.

13. Aniskin V.I. Klassifikatsiya pnevmoseparatorov zernovykh materialov / Aniskin V.I., Drincha V.M. // Dostizheniya nauki i tekhniki. 1993. No.4. S. 22-23.

14. Smelik V.A. Posleuborochnaya obrabotka zerna i semyan v usloviyakh regionov povyshennogo uvlazhneniya: monografiya / V.A. Smelik, M.A. Novikov, A.N. Perekopskiy, L.I. Eroshenko. – Sankt-Peterburg, SPbGAU, 2023. – 162 s.

15. Ulrikh N.N. Laboratornye pnevmoseparatory / Ulrikh N.N., Matveev A.S. // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo selskogo khozyaystva. 1972. No.6. S. 50-52.



УДК 621.37

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-258-4-82-89

Р.Р. Галиуллин, З.Р. Юлмухаметов
R.R. Galiullin, Z.R. Yulmukhametov

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СИСТЕМ ТОЧНОГО ВОЖДЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

DEVELOPMENT AND STUDY OF DOMESTIC HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR PRECISION CONTROL SYSTEMS OF MOBILE AGRICULTURAL UNITS

Ключевые слова: высокоточное земледелие, автоматическое рулевое управление, машинно-тракторный агрегат, спутниковая навигация, GNSS приёмник, фильтр Калмана, коррекция координат, электромеханический исполнительный привод, импортзамещение.

Изложены результаты многолетних исследований по созданию, моделированию и всесторонним испытаниям конкурентоспособного отечественного аппаратно-программного комплекса (АПК) для систем автоматического управления курсом машинно-тракторных агрегатов (МТА). Комплекс спроектирован с ориентацией на применение доступной элементной базы и современных методов цифровой обработки навигационных сигналов. В ходе исследований разработана детализированная математическая модель динамики МТА, учитывающая его кинематические и силовые параметры, а также влияние пространственных наклонов на точность позиционирования. Для коррекции ошибок спутниковых измерений предложен и реализован адаптивный алгоритм на основе фильтра Калмана. Аппаратная платформа комплекса построена по модульному принципу и включает многочастотный спутниковый

приёмник, микроконтроллерный блок обработки данных, исполнительный электромеханический привод рулевого управления и планшетное устройство с графическим интерфейсом пользователя. Экспериментальные исследования включали стендовые тесты, компьютерное моделирование и масштабные производственные испытания на полях Республики Башкортостан на различных типах тракторов и самоходных шасси. Полученные результаты подтвердили высокую эксплуатационную эффективность разработки: точность вождения составила ± 10 см, что обеспечило снижение площадей технологических пропусков и перекрытий на 15-25%, экономию минеральных удобрений – до 20 на единицу площади и рост производительности агрегатов на 13-20%. Установлена возможность круглосуточной работы системы с повышением ночной выработки в 1,5-1,8 раза. Стоимостные показатели разработанного АПК минимум в 5 раз ниже характеристик импортных аналогов при обеспечении сопоставимого технологического эффекта. Практическая значимость работы заключается в предоставлении агропромышленному комплексу РФ полностью локализованного, адаптируемого и экономически доступного решения для автоматизации рутинных операций в поле, что