

УДК 631.53

ТЕНДЕНЦИИ И КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ЛАБОРАТОРНЫХ ПНЕВМОСЕПАРАТОРОВ СЕМЯН

Дондоков Юрий Жигмитович, кандидат технических наук, доцент

Дринча Василий Михайлович, доктор технических наук, профессор

e-mail: vdrincha@yandex.ru

Тарасов Иван Максимович, аспирант

Никаноров Дъулустан Николаевич, аспирант

Филиппов Владимир Эдуардович, магистрант

Тимофеев Дъулустан Николаевич, магистрант

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

Аннотация. Первые лабораторные пневмосепараторы ЛП стали появляться в первой половине XX века в период интенсивного увеличения объемов зернопроизводства и появления поточных линий обработки зерна и подготовки семян. Установлено, что основным конструктивно-технологическим базисом развития семейства (ЛП) явились факторы минимизации расходов, связанных с разработкой и изготовлением, а также стремление разработчиков создавать лабораторные пневмосепараторы, которые были бы максимально универсальными. Данный подход привел к тому, что в настоящее время ЛП являются технологически низкоэффективными и практически недоступными для научных учреждений и сенменных хозяйств из-за их высокой стоимости. Проведен анализ основных способов пневмосепарации семян в ЛП. Установлено, что в ЛП, предназначенных для исследования аэродинамических свойств, преимущественно применяются конструкции с порционной подачей исходного материала и ротаметрическим измерением скорости воздушного потока в пневмоканале. В ЛП используемых для оценки качества работы зерно-семяочистительных машин применяют непрерывную подачу исходного материала, при этом они преимущественно не оснащались приборами для измерения скорости воздушного потока в пневмоканале. Выявлено, что для повышения эффективности технологий подготовки семян и обработки зерна рекомендуется разработать ЛП, адаптированные для контроля процессов сепарации в восходящих вертикальных воздушных потоках, а также в наклонных и горизонтальных воздушных потоках. Установлено, что как в вертикальном, так и в горизонтальном воздушных каналах качество разделения семенных смесей определяется, в первую очередь, выравненностью воздушного потока по сечению

канала и в зависимости от физических свойств сепарируемого семенного материала предпочтение может отдаваться одному или другому способу. При этом пневмосепараторы с различным конструктивным исполнением каналов могут эффективно сочетаться в технологических линиях послеуборочной обработки семян.

Ключевые слова: семена, пневмосепарация, лабораторный пневмосепаратор, скорость витания семян, аэродинамические свойства семян, способы пневмосепарации семян, сепарация и сортирование семян.

TRENDS AND CONCEPTUAL PRINCIPLES OF DEVELOPMENT OF LABORATORY PNEUMATIC SEED SEPARATORS

Dondokov Yuriy Zhigmitovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Drincha Vasilii Michailovich, Doctor of Technical Sciences, Professor

e-mail: vdrincha@yandex.ru

Tarasov Ivan Maksimovich, post graduate student

Nikanorov Djulustan Nikolaevich, post graduate student

Filippov Vladimir Eduardovich, master's student

Timofeev Djulustan Nikolaevich, master's student

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Abstract. The first laboratory pneumatic separators (LP) began to appear in the second half of the 20th century, during a period of rapid growth in grain production and the demonstration of flow lines for grain processing and seed preparation. It was established that the fundamental design and technological basis for the development of the design (LP) were cost minimization factors, development and manufacturing principles, and the desire of developers to create laboratory pneumatic separators that would be as versatile as possible. This approach leads to the fact that LPs are currently ineffective technologies and are practically unavailable to scientific institutions and family farms due to their high cost. An analysis of the main methods of pneumatic separation of seeds in LPs is conducted. It was found that LPs designed for studying aerodynamic properties employ designs with batch feed of the source material and rotametric measurements of the air flow velocity in the pneumatic channel, while LPs designed for evaluating the performance of grain and seed cleaning machines take into account the continuous feed of the source material. However, they were not initially equipped with devices for measuring the air flow velocity in the pneumatic channel. It has been established that to improve the efficiency of seed and grain preparation technology, it is recommended to develop pneumatic separators adapted to control separation processes in counter-current vertical air flows, as well as in inclined and horizontal air flows. It has been established that in both vertical and horizontal air channels, the quality of seed mixture separation is

determined primarily by the uniformity of the air flow across the channel cross-section. Depending on the physical properties of the seed being separated, priority may be given to one or the other method. Furthermore, pneumatic separators with different design methods can be effectively combined in post-harvest seed processing lines.

Keywords: seed, pneumatic separation, laboratory pneumatic separator, terminal velocities of seed, aerodynamic properties of seed, methods of seed separation and grading of seeds.

ВВЕДЕНИЕ. Семенная промышленность является основой зернопроизводства и определяющим фактором экономической эффективности сельского хозяйства. Развитие семеноводства основывается на обширных знаниях о биологических, физиологических и физических свойствах семян основных сельскохозяйственных и овощных культур, цветочных и лекарственных растений, садовых насаждений и семян лесных культур, а также на знаниях машинных процессов [5, 6, 7].

До начала 19 века для подготовки семян путем их очистки от посторонних примесей и отбора высокопродуктивных семян применяли простейшие способы и орудия. В хозяйствах семенной материал сепарировали по свойствам его сопротивления в воздушном потоке (аэродинамическим), как и тысячи лет назад, самым примитивным образом. Обмолоченную хлебную массу перебрасывали деревянной лопатой по току. При этом полва оседает через несколько метров от места бросания на поверхность тока благодаря своему большому сопротивлению воздуху, а тяжелые семена летят намного дальше, потому что они обладают большей скоростью витания в воздухе. Таким образом, в этом случае сообщают ускорение семенному материалу. Существовали даже специальные машины, так называемые зерно-швырялки, при помощи которых семенной материал разбрасывался по кругу на несколько метров, и этим достигалось сортирование семян в воздухе, главным образом по их индивидуальной массе [10, 20].

Зерно-швырялки не нашли практического применения по двум причинам: для них необходимо большое рабочее пространство, а точность разделения слишком мала. С технической точки зрения более рационально равномерно перемещать воздушный поток в пневмоканале и подавать в него семенной материал, чем сообщать каждому отдельному семени равное ускорение.

С конца 19 века для разделения семян по аэродинамическим свойствам стали применять простейшие веялки, включающие очистку семенного материала воздухом в горизонтальном канале, а также простейшую решетную очистку [8].

В настоящее время разделение семян по аэродинамическим свойствам производят в вертикальных и горизонтальных воздушных каналах. Вертикальный воздушный канал легче включить конструкцию комбинированной семяочисти-

тельной машины, чем горизонтальный канал. Поэтому часто приходят к выводу, что вертикальный воздушный поток обеспечивает более современную конструкцию и дает лучшие результаты, чем горизонтальный. Это неверно. Оба потока имеют преимущества и недостатки [9, 11, 12].

Лабораторные пневмосепараторы (ЛП) представляют собой семейство или подмножество общего множества пневмосепараторов сыпучих материалов и предназначены для изучения аэродинамических свойств семян и оценки качества работы пневмосепарирующих систем зерноочистительных машин. Первые ЛП стали появляться в первой половине XX века в период интенсивного увеличения объемов зернопроизводства и появления поточных линий обработки зерна и подготовки семян. По сравнению с первыми способами сепарации зерна в горизонтальном воздушном потоке, которые были известны в средние века, ЛП появились только через 500 лет.

Развитие ЛП происходило эволюционно, преимущественно путем копирования способов сепарации и конструктивного исполнения промышленных сепараторов. Данный подход привел к тому, что в настоящее время ЛП практически являются недоступными из-за их высокой стоимости ни для НИУ для оценки аэrodинамических свойств, ни для оценки качества контроля сепарации и подготовки семян в семеноводческих хозяйствах.

Многолетний опыт исследований процессов сепарации зерна, авторов данной статьи, показывает, что для разработки эффективных ЛП требуется выработка новых концептуальных положений, основанных на глубоком анализе принципов сепарации семян в ЛП, имеющих различное функциональное назначение.

Целью данной статьи является анализ тенденций и выявление концептуальных положений повышения эффективности процессов лабораторных пневмосепараторов в технологиях послеуборочной обработки зерна и подготовки семян.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. В процессе проведения исследований по выявлению основных тенденций развития способов лабораторной пневмосепарации семян и зерна, а также лабораторных пневмосепараторов зерновых материалов за более чем 100 летний период применен аналитический метод системного анализа развития машинных систем в агро- и биоинженерии [3, 13, 18].

Концептуальные основы пневмосепарации в лабораторных устройствах определялись на основании анализа тенденций их развития, а также анализа физических основ сепарации семян по аэродинамическим свойствам [4, 14, 19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Определяющими тенденции развития семейства ЛП явились факторы минимизации расходов, а также стремление разработчиков создавать лабораторные пневмосепараторы, которые были бы максимально универсальными. При этом сферы их применения постепенно расширя-

лись и в настоящее время включают: НИИ и вузы, селекционно-семеноводческие учреждения, а также их все шире используют в других областях народного хозяйства для сепарации сыпучих материалов [21, 22].

С появлением сети НИУ в России в 30-х годах прошлого века встает потребность в лабораторных приборах для исследования аэродинамических свойств семян, так как в это время в ВИМе, а также в других исследовательских организациях и вузах страны проводятся обширные исследования физических свойств семян. Первые приборы для исследования аэродинамических свойств семян называли лабораторными пневмоклассификаторами. Однако, позже, учитывая тот факт, что практически любой пневмосепаратор может выполнять функции и классификатора, в науке и практике все шире используют термин «лабораторный пневмосепаратор».

Исследования физических свойств семян проводились с целью разработки новых рабочих органов машин для послеуборочной обработки зерна, очистки в зерноуборочных комбайнах, различных видов сеялок, пневмо-транспортирующих систем, а также для задач селекционных и семеноводческих хозяйств.

ЛП по способу подачи семенного материала (СМ) в пневмосепарационный канал классифицируются на два типа: с порционной загрузкой и с непрерывной загрузкой.

Для исследований аэродинамических свойств семян применяют ЛП с порционной загрузкой, в которых загрузочная кассета, вертикальный пневмосепарирующий канал и отделительное устройство (циклон, осадочная камера и т.п.), соединенное с всасывающим окном вентилятора, образуют единый воздухопровод. Исследуемая навеска СМ засыпается в загрузочную кассету, сквозь которую просасывается восходящий поток воздуха. Взвешенные при данной скорости воздушного потока зерновки попадают в отделительное устройство и осаждаются в приемном стаканчике. Увеличивая постепенно скорость воздушного потока на величину классового промежутка, можно все частицы исходной навески распределить в вариационный ряд по скорости витания.

Типичным представителем ЛП с порционной загрузкой является КСП-1 разработан опытным приборостроительным заводом ЦОКБ ВИМ (рис. 1) [15, 17].

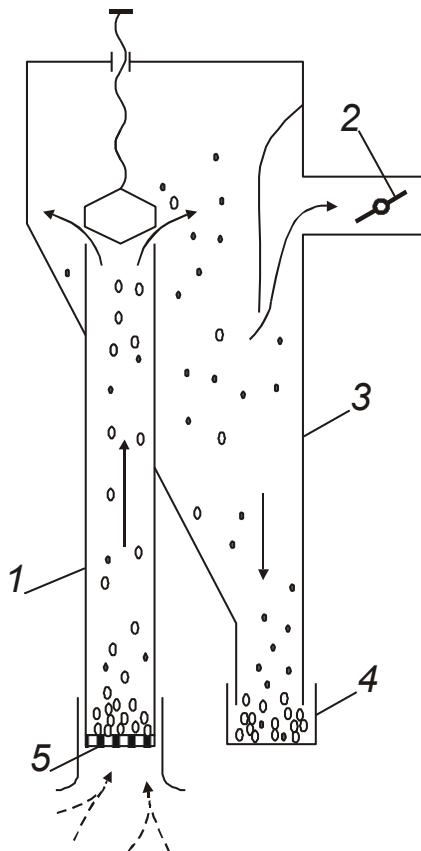


Рис. 1. Лабораторный пневмосепаратор с порционной загрузкой исходного материала (КСП-1)

ЛП смонтирован на металлическом основании. Вертикальный пневмоканал 1 и отделительное устройство 3 изготовлены из органического стекла, что позволяет наблюдать за процессом сепарации семян. Под нижним торцом канала и выпускным отверстием отделительного устройства на основании прибора укреплены подпружиненные подстаканники – один для загрузочной кассеты 5, другой – для приемного стаканчика 4. В верхней части отделительного устройства находится патрубок с дросселем 2 для регулирования скорости воздушного потока в канале. К патрубку при помощи гибкого шланга присоединяется электровентилятор.

ЛП имеет набор загрузочных кассет с сетками разного живого сечения. Существенным недостатком ЛП является отсутствие прибора для определения скорости воздушного потока в пневмоканале.

ЛП с непрерывной загрузкой СМ имеют ту же принципиальную схему компоновки основных узлов, что и приборы порционного действия, но технологическая схема процесса у них иная: исходный СМ подается непрерывным потоком в пневмосепарирующий канал, что не позволяет регулировать продолжительность процесса.

ЛП с непрерывной загрузкой СМ по конструктивному признаку классифицируются на два класса: с опорной сеткой и без опорной сетки (рис. 2) [1].

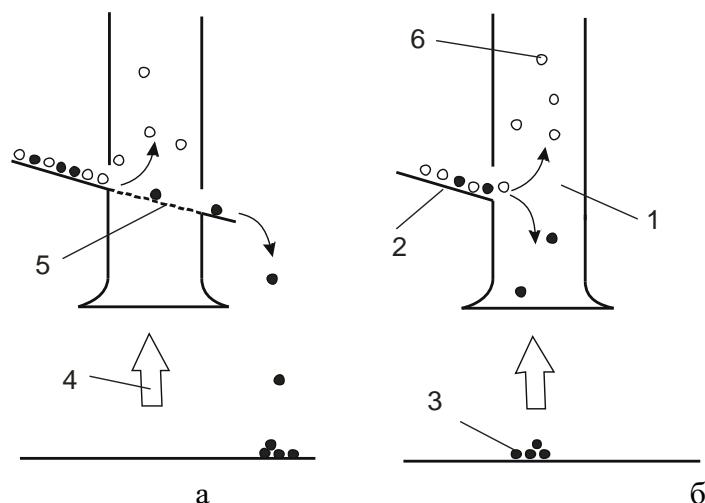


Рис. 2. Сепарация семян в восходящем потоке воздуха, с опорной сеткой (а) без опорной сетки (б): 1. вертикальный воздушный канал; 2. наклонный лоток; 3. тяжелое зерно; 4. направление воздушного потока; 5. поддерживающая сетка; 6. легкие частицы.

Одним из наиболее эффективных ЛП с непрерывной загрузкой СМ и без опорной сетки является К-293 (Германия) (рис. 3).

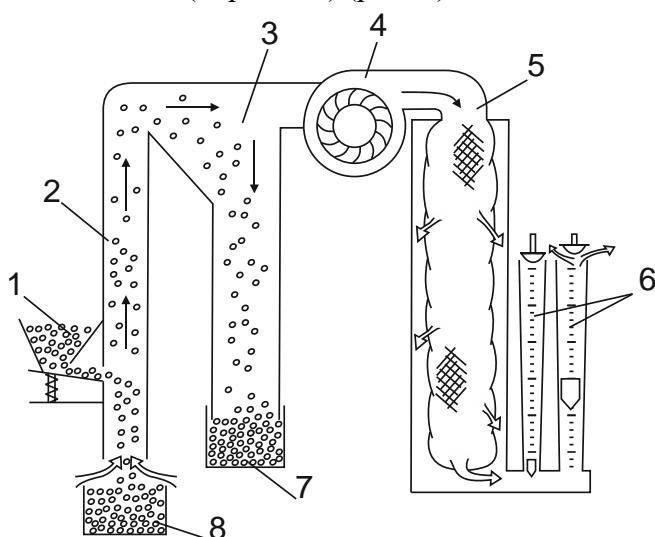


Рис. 3. Лабораторный пневматический сепаратор с непрерывной загрузкой исходного материала (К-293, Германия)

На металлическом основании смонтированы два ротаметра 6, кожух матерчатого фильтра 3 и питающий бункер 1. Фильтр 3 соединен с выходным патрубком центробежного вентилятора 4. Вертикальный пневмосепарирующий канал 2 в

верхней части сопряжен с отделительным устройством 3, которое в верхней части соединено с всасывающим патрубком вентилятора 4. Две стенки пневмоканала 2 изготовлены из стекла, благодаря чему можно наблюдать за процессом сепарации семян. В нижней части отделительного устройства 3 установлен приемник 7 для вывода легкой фракции, а под пневмоканалом 2 с зазором установлен приемник 8 для вывода тяжелой фракции семян.

Исходный СМ, поступивший в канал, через вибропитатель попадает в вертикальный воздушный поток, создаваемый центробежным вентилятором. Тяжелые семена спускаются вниз и собираются в подставленный под канал приемник (ящик), легкие семена воздушным потоком выносятся в отделительное устройство (осадочную камеру), попадая в приемник (съемный ящик) легкой фракции. Воздух через матерчатый фильтр и ротаметр выбрасывается в атмосферу. Фильтр легко очищается от пыли, эта процедура занимает 2...3 минуты.

ЛП имеет два ротаметра: малый – для изменения скорости воздушного потока от 0,5 до 3,3 м/с, большой – от 3,3 до 18 м/с. Ротаметры позволяют контролировать и устанавливать нужную скорость воздушного потока. Запуск пневмосепаратора и регулировка производительности осуществляются со специального пульта.

Применение ротаметров для измерения скорости воздушного потока в пневмоканалах ЛП является чрезвычайно важным конструктивным элементом так они хорошо вписываются в конструкцию небольших ЛП и имеют высокую точность измерений.

Газовый ротаметр — это простейшее устройство (рис. 3, п.6), включающее прозрачный конический патрубок, расположенный вертикально, широкая часть его обращена вверх. Внутри патрубка имеется поплавок, который может свободно в нем перемещаться. Площадь кольцевого зазора между поплавком и внутренней стенкой конического патрубка в рассматриваемом сечении определяется по формуле [16]:

$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (1)$$

где: D – внутренний диаметр конической трубы; d – диаметр поплавка, м.

Диаметр конической трубы в рассматриваемом сечении (на любой высоте поплавка в конической трубе h):2

$$D = d + h \frac{D_{max} - D_{min}}{H} \quad (2)$$

где: D_{max} – максимальный диаметр конического патрубка; D_{min} – минимальный, м; H – длина конического патрубка, м.

При прохождении через конический патрубок потока воздуха, поступающего снизу, создается подъемная сила, перемещающая поплавок вверх. При этом кольцевой зазор между поплавком и стенкой трубы увеличивается (1). Поплавок

уравновесится, когда величина подъемной силы будет равна весу поплавка. По высоте расположения поплавка судят о расходе воздуха через конический патрубок; отсчет производят по верхней кромке обода поплавка.

Так как конусность патрубка постоянная, то увеличение расхода происходит в прямой зависимости от величины площади кольцевого зазора, поэтому конусный патрубок градуирован равномерно. Расход воздуха Q – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{сек}$, через ротаметр определяется по следующей формуле:

$$Q = \varphi \cdot F \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta P}{\gamma}} \quad (3)$$

где: F – площадь кольцевого зазора, м^2 ; g – ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{сек}^2$; ΔP - разность давлений, создаваемая поплавком, $\text{кг}/\text{м}^2$; γ - удельный вес воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; φ - безразмерный коэффициент расхода.

Конический патрубок изготавливается из стекла (для специальных целей могут быть применены и другие материалы), поплавок в зависимости от величины замеряемого расхода – из эbonита, пластмассы, стали, резины и т.д.

Для увеличения диапазона измеряемого расхода могут быть использованы идентичные по форме и равные по объему поплавки из разных материалов. При этом для каждого поплавка пересчитывается шкала конической трубы. Пересчет расхода воздуха производится по формуле:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \sqrt{\frac{G_2}{G_1}} \quad (4)$$

где: Q_2 – действительный расход воздуха при измерении его поплавком с новым весом G_2 ; Q_1 – расход, соответствующий определенной высоте подъема поплавка с весом G_1 (заводским поплавком). Формула справедлива для случаев с постоянной измеряемой средой. Для атмосферного воздуха эти изменения весьма незначительны; поэтому такой пересчет вполне допустим применительно к описываемому ротаметру.

Поплавок ротаметра не касается стенок трубы (трение о стенки трубы не имеет места); поэтому он весьма чувствителен к изменениям скорости потока.

В последнее время выпускают ротаметры с индукционными датчиками, позволяющими управлять ими дистанционно. Такие приборы весьма удобны для автоматического регулирования и поддержания расхода воздуха в ЛП.

В ЛП ротаметры могут устанавливаться как со стороны впускного конца (нижнего) пневмоканала, так и на выходе воздуха из отделительного устройства. Установка ротаметра на выходе отделительного устройства является предпочтительным, так как не усложняет процесс загрузки СМ в пневмоканал ЛП любых типов.

Основными требованием для разработки ЛП являются требования выравненности поля скоростей воздушного потока в пневмоканале.

Воздушный поток создается колесом центробежного вентилятора. Если число лопастей слишком мало или если число оборотов недостаточно, то воздушный поток «пульсирует». Неравномерность потока возникает и в том случае, если у колеса вентилятора небольшое количество лопастей. Работа ЛП с неравномерным воздушным потоком дает плохое разделение СМ.

Скорость воздушного потока в пневмоканале определяется открытием впускных окон у вентилятора и числом оборотов колеса вентилятора. Так как давление в воздушном потоке изменяется пропорционально квадрату числа оборотов колеса, то колебания числа оборотов колес должны быть, незначительными [2].

При одностороннем подсосе воздуха в вентилятор увеличиваются завихрения в канале, поэтому необходимо следить за тем, чтобы заслонки с обеих сторон были открыты равномерно. Заслонки целесообразно изготавливать в виде ирисовых диафрагм. Но даже если эти требования выполнены и вентилятор работает безупречно, в воздушном канале могут образоваться завихрения. Завихрения бывают наибольшими вблизи вентилятора; поэтому целесообразно участок канала, в котором происходит разделение, помещать дальше от вентилятора. Завихрение можно устранить, если воздушный поток пропустить через подпорную камеру или через ряд сеток.

На кафедре ТС АПК (АГАТУ) разработан дроссельный регулятор для регулирования скорости воздушного потока в пневмоканале ЛП (рис. 4).

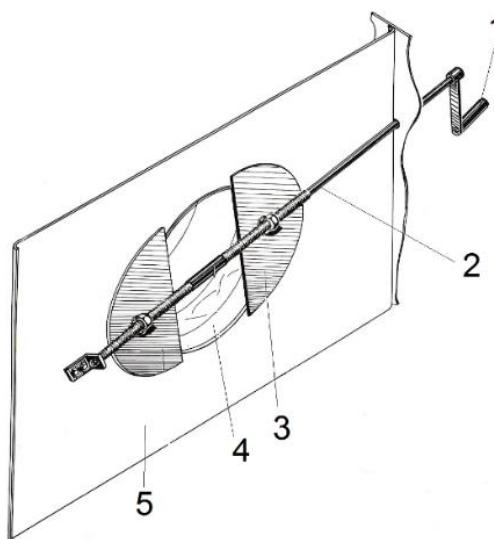


Рис. 4. Схема дроссельного регулятора для регулировки скорости воздушного потока в пневмоканале лабораторных пневмосепараторов: 1 - кривошипная рукоятка; 2 - регулируемый винт с резьбой; 3 - подвижная заслонка; 4 - всасывающее окно; 5 - стенка всасывающей камеры.

Особенностью разработанного дроссельного регулятора является равномерное перемещение заслонок в противоположных направлениях, что позволяет при вращении рукоятки обеспечивать требуемое изменение расхода воздушного потока, поступающего в пневмоканал, а, следовательно, и скорость воздушного потока в нем. Экспериментальные исследования подтвердили достаточную эффективность разработанного дроссельного регулятора.

Другой причиной, вызывающей неравномерность воздушного потока, является трение воздуха о стенки канала (рис. 5).

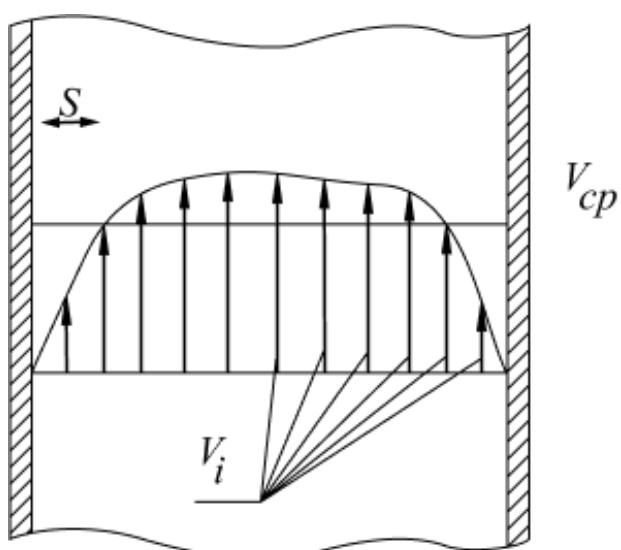


Рис. 5. Поле скоростей воздушного потока по сечению пневмоканала

Чтобы уменьшить трение, нужно стенки внутри делать до возможности более гладкими. Этим можно уменьшить трение, но нельзя избежать его полностью. Особенно велико трение в углах канала. В результате трения воздуха о стенки скорость воздушного потока падает, особенно в углах. Падение скорости воздушного потока по сечению пневмоканала не должно превышать 2% [10].

Сепарация зернового материала в горизонтальном или наклонном воздушных потоках имеет в некоторых случаях преимущества в сравнении с сепараторами с вертикальным воздушным каналом. В этом случае из исходного СМ могут быть одновременно отделены примеси с меньшей и большей скоростью витания, чем у основного материала. В сепараторах с горизонтальным или наклонным воздушными потоками, если материал подавать тонким слоем, то почти исключается взаимное воздействие друг на друга зерновок с различными скоростями витания, чего в вертикальном воздушном потоке добиться трудно.

В горизонтальных воздушных потоках каждая зерновка занимает довольно быстро определенное положение (центром тяжести вниз) и в соответствии со скоростью его витания подвергается различной экспозиции воздействия воздушного

потока. В связи с этим, создание ЛП, в котором можно производить разделение СМ, как в горизонтальном, так и в наклонном воздушном потоке, является перспективной разработкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Большинство лабораторных зерно-семяочистительных машин используют для сепарации воздушный поток. Широкое применение воздушного потока объясняется его универсальностью, т.е. им можно разделять семена, начиная от самых мелких (мак, семена цветов, клевер и др.) и кончая самыми тяжелыми (фасоль, горох и др.).

Рассмотрены наиболее распространенные конструкции лабораторных пневмосепараторов (ЛП), установлено, что для исследования аэродинамических свойств семян преимущественно применяют ЛП с порционной загрузкой и ротаметрическим измерением скорости воздушного потока, а для контроля промышленных пневмосепараторов применяют ЛП с непрерывной загрузкой.

В существующих конструкциях ЛП используется только вертикальный воздушный поток, в котором, как правило, удается отделить от основного материала только легкие примеси. Чистота материала после обработки в таком воздушном потоке часто бывает низкой и требуется материал обрабатывать дополнительно.

Как в вертикальном, так и в горизонтальном воздушных каналах качество разделения семенных смесей определяется, в первую очередь, выравненностью воздушного потока по сечению канала и в зависимости от физических свойств сепарируемого семенного материала предпочтение может отдаваться одному или другому способу.

Для повышения эффективности технологий послеуборочной обработки зерна рекомендуется провести исследования на различных семенных материалах и разработать ЛП, адаптированные для контроля процессов сепарации в восходящих вертикальных воздушных потоках, а также в наклонных и горизонтальных воздушных потоках.

Разработка эффективных ЛП должна основываться на технических требованиях, учитывающих существенные отличие ЛП, имеющих различное функциональное предназначение.

Список литературы

1. Анискин В.И. Классификация пневмосепараторов зерновых материалов / Анискин В.И., Дринча В.М. // Достижения науки и техники. 1993. №4. с. 22-23.
2. Бурков А.И. Разработка и совершенствование пневмосистем зерноочистительных машин. Монография. Киров. 2016. 380 с.
3. Гиршсон В.Я. Взвешенные скорости и коэффициенты обтекания, «Советское мукомолие и хлебопечение» № 9, 1929, с. 12-15.

4. Дондоков Ю.Ж. Проблемы и перспективы разработки лабораторных пневмоклассификаторов зерна / Дондоков Ю.Ж., Дринча В.М., Аммосов И.Н., Никаноров Д.Н., Слепцов Н.Е. // Сб. Чугуновские агрочтения. Сб. научных статей по материалам 17 Всероссийской научно-практической конференции агротехнологической направленности, посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной войне, Якутск, 2025, с. 301-308.
5. Дондоков Ю.Ж. Проблемы и перспективы совершенствования процессов пневмосепарации зерна / Дондоков Ю.Ж., Аммосов И.Н., Дринча В.М., Платонова А.З., Филатов А.С. // Вестник АГАТУ. 2024. №4 (16). с. 55-66.
6. Дринча В.М. Проблемы и перспективы совершенствования процессов пневмосепарации зерна / Дринча В.М., Дондоков Ю.Ж., Аммосов И.Н., Слепцов Н.Е. // Вестник АГАТУ. 2023. №4 (12). с. 92-101.
7. Дринча В.М. Направления производства конкурентоспособной техники для очистки зерна и семян / Дринча В.М., Ямпилов С.С. // Техника и оборудование для села. 1999. №3-4. с. 10-12.
8. Дрогалин К.В., Карпова К.А. К вопросу о пневматическом сортировании зерна и промежуточных продуктов его размола, Тр. ВНИИЗ, вып. XXIX, 1954.
9. Космовский Ю.А. Исследование сепарирующей способности вертикального воздушного потока // Труды ВИМ. т.55. М., 1971. с. 43-49.
10. Лампетер В. Очистка и сортирование семян кормовых трав. М., Изд. иностранной литературы, 1960, 270 с.
11. Матвеев А.С. Изучение процесса взвешивания и сепарирования зерновых смесей вертикально-восходящим воздушным потоком // Труды ВИМ, т.37, М., 1965, с. 81-87.
12. Матвеев А.С. Определение аэродинамического коэффициента сопротивления зернового материала в вертикальных каналах пневмосепарирующих устройств // Сборник научно-исследовательских работ аспирантов ВИМ, М., 1963, с. 27-31.
13. Терсков Г.Д. Оптимальная скорость воздушного потока в сортировках и построение траектории движения зерна. Сельскохозяйственная машина. № 2. 1936. с. 13-19.
14. Тиц З.Л. Исследование работы порционного парусного классификатора. Механизация и электрификация соц. с.х-ва., № 6, 1939, с.15-17.
15. Тиц З.Л. Новые классификаторы ВИМ. Вестник сельскохозяйственной науки. № 9. 1958. с.21-24.
16. Ульрих Н.Н., Матвеев А.С. Ротаметрический порционный пневмоклассификатор / Ульрих Н.Н. // Вестник с.-х. науки. 1963. №9. с. 147-150.

17. Ульрих Н.Н. Лабораторные пневмосепараторы / Ульрих Н.Н., Матвеев А.С., Космовский Ю.А. // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1972. №6. с. 50-52.
18. Ульрих Н.Н. Методы изучения изменчивости физико-механических свойств составных частиц семенных смесей. Механизация соц. с.-х.-ва. № 4. 1935. с. 8-13.
19. Ярин Л.П. К методике определения коэффициента парусности и скорости витания /Ярин Л.П., Зенин Л. С./ Доклады ВАСХНИЛ, 1957, вып. 8., с. 15-17.
20. Gorial B.Y., Ocallaghan J.R. Aerodynamic Properties of Grain/Straw Materials. Journal of Agricultural Engineering Research. 1990, vol. 46, №1, pp. 275-290.
21. Shellard J.E., Macmillan R.H. Aerodynamic properties of threshed wheat materials. Journal of agricultural Engineering Research. 1978, vol. 23, p.273-281.
22. Szpryngiel M., Kram B. Rye-grass seeds aerodynamic properties vs seed weight and dimensions//International Agrophysics, 1994, № 8, pp.343-347.

© Дондоков Ю.Ж., Дринча В.М., Тарасов И.М.,
Никаноров Д.Н., Филиппов В.Э., Тимофеев Д.Н., 2025