

УДК 631.53

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ ЗЕРНА

Дринча Василий Михайлович

доктор технических наук, профессор

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

e-mail: drincha@yandex.ru

Дондоков Юрий Жигмитович

кандидат технических наук, доцент

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

Аммосов Иннокентий Николаевич

старший преподаватель

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

Слепцов Николай Егорович

аспирант инженерного факультета

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

Аннотация. Приведен анализ современных технологий пневмосепарирования зерна. Обоснована необходимость повышения эффективности пневмосепарации зерна на всех этапах его производства, начиная от комбайна и заканчивая операциями подготовки зерна к помолу. Определены основные конструктивные и технологические причины низкой эффективности пневмосепарирующих систем. Приведена методика определения скорости витания зерна в порционном пневматическом классификаторе. Исследован процесс пневмокласификации семян основных зерновых культур, прошедших полнопоточную технологию обработки семян. Обоснованы основные физические закономерности определения скорости витания зерна в восходящем вертикальном воздушном потоке. Установлено, что семенной материал, прошедший через поточную линию обработки семян, различается по скорости витания.

Ключевые слова: Зерно, пневмосепарация, пневмокласификатор, скорость витания зерна, аэродинамические свойства зерна, аэродинамический коэффициент сопротивления зерна, эффективность сепарации, сортирование семян.

THE PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT GRAIN PNEUMATIC SEPARATION

Drincha Vasilii Michailovich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Arctic State Agrotechnological University
Yakutsk, Russia
e-mail: vdrincha@yandex.ru

Dondokov Yuriy Zhigmitovich

PhD in engineering science
Arctic State Agrotechnological University
Yakutsk, Russia

Ammosov Innokentiy Nikolaevich

Assistant Professor
Arctic State Agrotechnological University
Yakutsk, Russia

Sleptsov Nikolaj Egorovich

Postgraduate student of the Faculty of engineering
Arctic State Agrotechnological University
Yakutsk, Russia

Abstract. An analysis of modern technologies for pneumatic grain separation is provided. The necessity of increasing the efficiency of pneumatic separation of grain at all stages of its production, starting from the grain combine and ending with the operations of preparing grain for grinding, is substantiated. The main structural and technological reasons for the low efficiency of pneumatic separating systems have been identified. A method for determining the terminal velocity of grain in a portioned pneumatic classifier is presented. The process of pneumatic classification of seeds of cereals that have undergone full-flow seed processing technology has been studied. The basic physical laws for determining the speed of terminal velocity of grain in an ascending vertical air flow are substantiated. It has been established that seed material that has passed through the seed processing production line varies in terminal velocity.

Keywords: Grain, pneumatic separation, pneumatic grader, terminal velocities of cereal grains, aerodynamic properties of grains, drag coefficients of grains, efficiency of separation, seeds grading.

Введение

Очистка зерна – одно из важнейших звеньев технологий послеуборочной обработки и переработки. В процессе уборки урожая зерно отделяется от расте-

ния. С первого этапа, так называемого обмолота, зерно не становится достаточно чистым. После уборки зерновая масса, несмотря на высокую эффективность очистительных устройств современных комбайнов, а также применения эффективных средств защиты растений все еще содержит листья, стебельки, семена сорных и других культурных растений, незрелые и дробленные зерновки, невыполненное зерно, минеральную и другую органическую примесь. Такое зерно, независимо от его предназначения должно быть очищено [5, 10, 16]. Стоимость обработанного зерна зависит от его чистоты, а также процентного содержания инородных примесей.

Очистка зерна способствует продлению сроков безопасного хранения зерна. Насекомые в очищенном зерне разводятся с затруднением, а фумигация очищенного зерна более эффективна. Аэрация и сушка зерна экономически более эффективны если в нем содержится меньше инородных примесей и дробленного зерна. Для мукомольной промышленности очистка зерна имеет особую важность, так как на помол должно поступать исключительно чистое зерно.

Одним из наиболее древних и наиболее широко применяемых способов очистки зерна является сепарация в воздушном потоке. В древние времена для этих целей использовали естественный ветер. Самыми примитивными средствами вбрасывали зерно в ветровой поток, например лопатой и таким образом отвеивали из основного зерна легкие примеси. В настоящее время способ сепарации зерна в воздушном потоке или в пневматических сепараторах находит самое широкое распространение практически во всех процессах зернопроизводства, начиная от комбайновой очистки и заканчивая процессами подготовки зерна к помолу [1, 6, 19].

Несмотря на широкое применение пневмосепарации зерновых материалов в нашей стране и во всем мире, пневмосепараторы, поставляемые промышленностью не удовлетворяют современным требованиям технологии обработки зерна [4, 7, 12]. Основными конструктивными причинами низкой эффективности пневмосепараторов являются:

- некачественный воздушный поток в зоне сепарации, вследствие высокой неравномерности поля скоростей воздушного потока;
- неравномерное распределение подачи зерна по ширине и глубине пневмосепарирующих каналов, особенно при повышенных удельных нагрузках;
- большие габаритные размеры, а также высокая удельная энергоемкость сепарации зерна в пневмосортировальных каналах.

Некоторые отечественные машины имеют пневмосистемы, эффективность сепарирования которых в производственных условиях не превышает 30% [4].

Наряду с конструктивными недостатками повсеместно нарушаются основные принципы организации и выбора оптимальных режимов пневмосепарирова-

ния, что приводит к существенным потерям полноценного зернового материала, а также к повышению стоимости обработки зерна.

Сложившаяся ситуация обусловлена несколькими причинами:

- кажущейся простотой процессов сепарации зерна в воздушном потоке;
- практически отсутствие доступных лабораторных приборов для оценки делимости исходных зерновых материалов, а также разделенных фракций на пневмосепараторе;
- отсутствие служб распространения знаний о процессах послеуборочной обработки и хранения зерна.

Целью данной статьи является анализ и выявление основных направлений повышения эффективности процессов пневмосепарации зерна в технологиях послеуборочной обработки зерна и подготовки семян.

Материалы и методы исследования

В процессе проведения исследований был применен аналитический метод выявления физических основ сепарации зерновых материалов в восходящем вертикальном воздушном потоке [2, 8, 17].

Для определения скорости витания зерновок V_k в лабораторных условиях, известны парусные классификаторы РПП-30, ППК-ВИМ, ПСН-1 (НПО Агроприбор), лабораторная установка К-293 “Петкус” (ГДР) и др. [3, 8].

Свойства семян основных зерновых культур определяли на порционном ротаметрическом пневмокласификаторе РПП-30 (рис. 1.) [9, 11]. Данный классификатор из вышеприведенного перечня является наиболее точным и удобным в работе.

Пневмокласификатор 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 размещена 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.

Порция семян закладывается в кассету 5, где пронизывается восходящим потоком воздуха. По мере увеличения скорости потока за счет увеличения частоты вращения вентилятора 9 увеличивается и аэродинамическая сила воздействия на семенной материал и последний, увлекаемый потоком, как бы растягивается по высоте воздушного канала. Семена в зависимости от аэродинамических свойств занимают в канале определенную высоту, а те из них, скорость витания которых

меньше скорости воздушного потока, выносятся в циклон 8 и осаждаются в приемном стаканчике 11. При последовательном увеличении скорости воздушного потока порция семенной смеси может быть разделена на требуемое число фракций.

По завершении результатов эксперимента, данные были обработаны общепринятыми методами математической статистики.

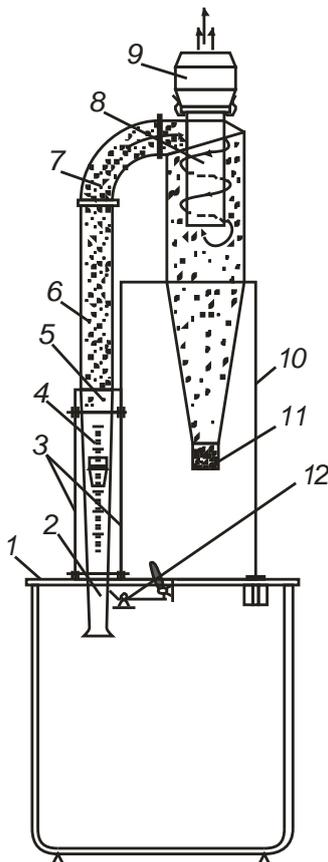


Рис. 1. Схема ротаметрического порционного пневмоклассификатора РПП-30

Результаты и обсуждение

Процессы пневмосепарации зерновых смесей, пневматического транспортирования зерна, псевдооживления зерновых материалов зависят от свойств зерновок, проявляющихся в воздушном потоке. В большом количестве литературных источников [13, 15, 18], посвященных данному вопросу, в частности определению скорости витания зерна в восходящем-вертикальном воздушном потоке, а также коэффициентов сопротивления семян культурных растений и некоторых сорняков полученные значения неодинаковы по величине.

Это объясняется тем, что эксперименты велись на пневмоклассификаторах различных конструкций, отличающихся характеристикой воздушного потока, а также разными методиками определения аэродинамических свойств. Эти свой-

ства заключаются в том, что в зерновой смеси, как и в каждом физическом теле, при движении возникают силы сопротивления воздушной среде.

Частицы зерновой смеси, у которых сила сопротивления воздушной среде большая, будут двигаться медленнее частиц с меньшим аэродинамическим сопротивлением. Величина аэродинамического сопротивления зависит от ряда факторов: площади поперечного сечения частицы, ее формы и расположения в воздушном потоке, характера поверхности, относительной скорости, удельного веса воздуха и т.д.

Показателями, определяющими поведение частиц зерновой смеси в воздушном потоке, являются скорость витания $V_{кр}$, коэффициент сопротивления воздуха k_v и коэффициент парусности $k_{п}$.

Вертикальное движение семян в воздушной среде (рис. 2) характеризуется уравнением:

$$m \frac{dV_{в}}{dt} + R = G \quad (1)$$

где m – масса зерновки, кг;

$V_{в}$ – скорость воздушного потока, м с⁻¹;

t – время движения зерновки, с;

R – сила сопротивления воздушного потока, Н;

$G = mg$ – сила тяжести, Н.

g – ускорение силы тяжести, м/с².

Сила воздействия воздушного потока R на отдельную частицу зерновой смеси, положенная в основу теоретических расчетов по выбору оптимальной скорости этого потока выражается формулой Ньютона:

$$R = k_n \rho_{в} s_c (V_{в} - u)^2 \quad (2)$$

где $\rho_{в}$ – плотность воздуха, кг · м⁻³ ($\rho_{в} = 1,2 \times 10^6$ кг м⁻³);

s_c – площадь проекции зерновки на плоскость, перпендикулярную к направлению воздушного потока (миделево сечение зерновки);

u – скорость зерновки, м · с⁻¹.

При восходящем вертикальном воздушном потоке силы R и G направлены в противоположные стороны (рис. 2). В зависимости от соотношения этих сил, возможно движение частицы вниз ($R < G$), вверх ($R > G$) и ее расположение во взвешенном состоянии ($R = G$, при $u \approx 0$).

Практическое определение скорости витания зерновок сложная задача, которая должна решаться путем разработки конкретной методики. Сложность состоит в том, что зерновки в канале обычно витают (перемещаясь по сложной траектории вверх-вниз в пневмоканале) (фото 1).

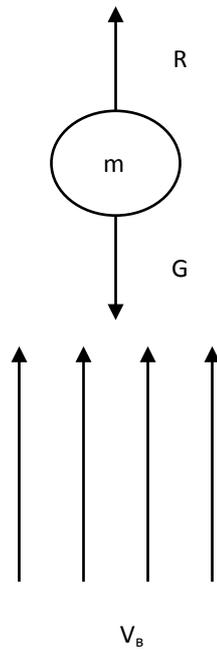


Рис. 2. Схема воздействия воздушного потока на зерновку в восходящем вертикальном воздушном потоке.

Скорость витания $V_{кр}$ - это скорость вертикального воздушного потока, при которой тело находится во взвешенном состоянии.

Исходя из условия $R=G$, имеем:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{G}{k_g \rho_g s_c}} \quad (3)$$

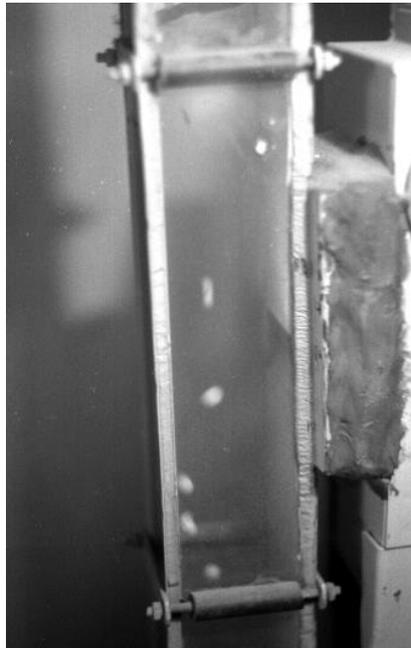


Фото 1. Витание семян гороха в вертикально-восходящем воздушном потоке на пневмокласификаторе К-293 «Петкус» (ГДР).

Причем одни и те же зерновки могут витать в каком-то диапазоне скоростей воздушного потока.

Из-за сложности методик определения скоростей витания зерна, а также большой погрешности в литературе практически отсутствуют данные о корреляционных зависимостях скорости витания зерновок с другими физико-механическими свойствами зерновок. Например, индивидуальная масса семян является одним из важнейших показателей их физиологической спелости, использование аэродинамических свойств, наряду с другими свойствами семян, может обеспечить весьма качественное разделение зерновых смесей по продуктивным признакам семян.

В существующих поточных технологиях послеуборочной обработки зерна и подготовки семян, они подвергаются многократной обработке воздушным потоком, что является свидетельством низкой эффективности обработки.

Статистические параметры предварительно разделенных семян на пневмосортировальном столе БПС-3У показывают, что, несмотря на то, что семена прошли через поточную линию обработки семян (Пермская с.-х. опытная станция, с. Лобаново) они различаются по скорости витания (табл. 1).

Таблица 1

Числовые статистические характеристики скоростей витания $V_{кр}$ семян основных зерновых культур

Культура	Фракции	Среднее арифметическое, м с ⁻¹	Среднеквадратическое отклонение, м с ⁻¹	Коэффициент вариации, %
Пшеница Стрела	1	7,70	0,394	5,12
	2	7,96	0,335	4,21
	3	8,03	0,314	3,91
	4	7,94	0,384	4,83
Ячмень Луч	1	6,74	0,466	6,92
	2	7,05	0,459	6,50
	3	7,21	0,436	6,06
	4	6,95	0,493	7,09
Овес Астор	1	6,45	0,534	8,27
	2	6,57	0,479	7,28
	3	6,69	0,405	6,05
	4	6,64	0,466	7,02

Скорость витания зерновых материалов представляет интерес для контроля технологических процессов обработки зерна или подготовки семян. Для повышения технологической эффективности рекомендуется определять скорость витания для следующих случаев:

– выявления возможности сепарации зерна, поступающего на обработку по аэродинамическим свойствам;

- выбора оптимальной скорости воздушного потока в пневмосепарирующих каналах;
- контроля эффективности работы пневмосепарирующих систем.

Заключение

Основные теоретические положения, на основании которых проектируют и разрабатывают пневматические системы зерноочистительных машин, были разработаны в 60-70-х годах прошлого века. Несмотря на повсеместное применение пневмосепараторов в отрасли зернопроизводства практически отсутствуют приборы или устройства для контроля эффективности их работы. Сложившаяся ситуация приводит к снижению качества и эффективности обработки зерновых материалов.

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

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. Барков К.М. Основные элементы теории сепарирования семян воздушным потоком // Тр. ВИМ, том 1, М., 1935, с. 5-10.
3. Безручкин И.П. Аэродинамические свойства зерен // Тр. Моск. дома ученых, вып. 11, «Сепарирование сыпучих тел», М., - Л., 1937, с. 25-56.
4. Бурков А.И. Разработка и совершенствование пневмосистем зерноочистительных машин. Монография. Киров, 2016, 380 с.
5. Дринча В.М. Направления производства конкурентоспособной техники для очистки зерна и семян / Дринча В.М., Ямпиров С.С. // Техника и оборудование для села, 1999, №3-4, с. 10-12.
6. Корн А.М. Сравнительная оценка качества сортирования семян пневмосепараторами / Корн А.М., Космовский Ю.А., Матвеев А.С. // Труды ВИМ, т.74, М., 1970, с. 42-46.
7. Космовский Ю.А. Исследование сепарирующей способности вертикального воздушного потока // Труды ВИМ, т.55, М., 1971, с. 43-49.
8. Матвеев А.С. Изучение процесса взвешивания и сепарирования зерновых смесей вертикально-восходящим воздушным потоком // Труды ВИМ, т.37, М., 1965, с. 81-87.
9. 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.

10. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет (под ред. Б.Г. Турбина), Л.: Машиностроение, 1967, 583 с.

11. Ульрих Н.Н., Матвеев А.С. Ротаметрический порционный пневмокласификатор / Ульрих Н.Н. // Вестник с.-х. науки, 1963, №9, с. 147-150.

12. Bilansky W.K., Lal R. Behaviour of threshed materials in a vertical wind tunnel. Transactions of the ASAE. 1965, vol. 8 (3), p. 411-431.

13. Garret R.E., Brooker D.B. Aerodynamic Drag of Farm Grains. Transactions of the ASAE. 1965, vol. 8, № 1, p. 49-52.

14. Gorial B.Y., Ocallaghan J.R. Aerodynamic Properties of Grain/Straw Materials. Journal of Agricultural Engineering Research. 1990, vol. 46, №1, pp. 275-290.

15. Grover P.S., Kashnyap M.M. Terminal velocities and aerodynamic characteristics of Paddy and Groundnut. Journal of Agricultural Engineering Research. 1980, vol. 17, № 4, pp. 393-404.

16. Hawk A.L., Brooker D.B., Cassidy J.J. Aerodynamic characteristics of selected farm grains. Transaction of the ASAE. 1966, vol. 9, № 1, pp. 48-51.

17. Lyles L., Krauss R. Threshold velocities and initial particle motion as influenced by air turbulence. Transaction of the ASAE. 1974, vol. 14, № 3, pp. 239-248.

18. Menzies D., Bilansky W.K. Aerodynamic properties of alfalfa particles. Transactions of the ASAE. 1967, vol.11, № 6, pp. 829-831.

19. Shellard J.E., Macmillan R.H. Aerodynamic properties of threshed wheat materials. Journal of agricultural Engineering Research. 1978, vol. 23, p.273-281.

20. Szpryngiel M., Kram B. Rye-grass seeds aerodynamic properties vs seed weight and dimensions//International Agrophysics, 1994, №8, pp.343-347.

© Дринча В.М., Дондоков Ю.Ж., Аммосов И.Н., Слепцов Н.Е., 2023