

УДК 62-21

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАПАЗОНА СКОРОСТЕЙ ВИТАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В КАМЕРЕ ПРИ СЕПАРИРОВАНИИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Пивень В.В., Уманская О.Л., Кривчун Н.А.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: pivenvv@yandex.ru

Рассмотрен процесс сепарирования зерна пшеницы в горизонтальном воздушном канале по аэродинамическим признакам. При фракционировании исходного материала на разнокачественные фракции актуальной научной проблемой является установление закономерностей распределения компонентов сепарируемого материала по длине приемного короба. Целью исследования является установление характера распределения зерна пшеницы по длине приемного короба и аппроксимация этого распределения математической зависимостью для определения основных параметров приемного короба. Дан анализ распределения зерна пшеницы по длине сепарирующей камеры. Закон распределения аппроксимирован функцией Вейбулла. Приведенная методика позволяет выполнять корректировку расположения приемного короба и протяженности зон приема компонентов для повышения качества сепарирования. Получение разнокачественных фракций материала после воздушного сепарирования позволяет более рационально организовать последующую очистку материала. Наиболее качественный материал следует извлекать в чистом виде на первом этапе обработки. На дальнейшую обработку в этом случае будет отправляться только промежуточная фракция, имеющая существенно меньший объем по сравнению с исходным количеством материала. Совместный анализ аппроксимирующих зависимостей зерна основной культуры и примесей позволит определить процентный состав получаемых фракций в любой зоне приемного короба.

Ключевые слова: воздушное сепарирование, пшеница, фракции, параметры приемного короба

MODELING OF THE RANGE OF SOARING SPEEDS AND THE DISTRIBUTION OF IMPURITIES IN THE CHAMBER DURING SEPARATION OF WHEAT GRAIN

Piven V.V., Umanskaya O.L., Krivchun N.A.

Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: pivenvv@yandex.ru

The process of separating wheat grain in a horizontal air channel according to aerodynamic characteristics is considered. When fractionating the source material into different-quality fractions, an urgent scientific problem is to establish the patterns of distribution of the components of the separated material along the length of the receiving box. The aim of the study is to establish the nature of the distribution of wheat grain along the length of the receiving box and to approximate this distribution by mathematical dependence to determine the main parameters of the receiving chamber. The analysis of the distribution of wheat grain along the length of the separating chamber is given. The distribution law is approximated by the Weibull function. The above technique allows you to adjust the location of the receiving box and the length of the reception areas of components to improve the quality of separation. Obtaining different-quality fractions of the material after air separation makes it possible to organize the subsequent cleaning of the material more efficiently. The highest quality material should be extracted in its pure form at the first stage of processing. In this case, only the intermediate fraction, which has a significantly smaller volume compared to the initial amount of material, will be sent for further processing. A joint analysis of the approximating dependencies of the grain of the main crop and impurities will allow determining the percentage composition of the fractions obtained in any zone of the receiving box.

Keywords: air separation, wheat, fractions, parameters of the receiving box

Сепарирование воздушным потоком широко используется для смесей, компоненты которых отличаются аэродинамическими признаками. Воздушные сепараторы применяются при послеуборочной обработке зерна, фракционировании зернового материала, подготовке зерна перед помолотом, извлечении зерна из примесей [1, 2]. Разделение смесей по аэродинамическим признакам применяется также при сепарировании сыпучих материалов в горной, фармацевтической, пищевой промышленности, при производстве строительных материалов и т.д.

В воздушных сепараторах используются различные схемы взаимодействия се-

парируемой смеси и воздушного потока. Так, например, вертикальные воздушные каналы обеспечивают высокое качество сепарирования при низкой удельной производительности. Наклонные и горизонтальные воздушные каналы позволяют вести процесс сепарирования с большей удельной нагрузкой и меньшей энергоемкостью. Качество сепарирования при этом уступает воздушным сепараторам с вертикальным каналом. Воздушные сепараторы с наклонными и горизонтальными каналами имеют определенные преимущества: позволяют разделять (фракционировать) исходный материал на разнокачественные фракции. Последующая раздельная обработка этих

фракций позволяет снизить общую энергоёмкость процесса сепарирования. При сепарировании семян сельскохозяйственных культур снижение числа пропусков материала через машины снижает микроповреждения семян и повышает их качество.

При фракционировании исходного материала на разнокачественные фракции актуальной научной проблемой является установление закономерностей распределения компонентов сепарируемого материала по длине приемного короба. Определение протяженности зоны осаждения отдельных компонентов необходимо для обоснования длины приемного короба, его отдельных секций, их количества. Оптимальное соотношение данных параметров позволит обеспечить наиболее эффективное осуществление процесса сепарирования.

В данной работе процесс воздушного сепарирования рассматривается на примере сепарирования зерна пшеницы, поступающей на зерноочистительные комплексы.

Целью исследования является установление характера распределения зерна пшеницы по длине приемного короба и аппроксимация этого распределения математической зависимостью для определения основных параметров приемного короба.

Материалы и методы исследования

Выбор технологической схемы взаимодействия сепарируемой смеси и воздушного потока, определение набора машин

для последующего сепарирования по другим признакам разделения необходимо производить с учетом материальных затрат и затрат энергии для всего технологического процесса сепарирования [3–5].

При разработке конструкции воздушного сепаратора необходимо учитывать траекторию движения компонентов смеси, которая зависит от скорости воздушного потока, скорости и угла ввода компонентов в воздушный поток, угла наклона воздушного потока к горизонту, производительности сепаратора [6–8].

При изменении влажности, других физико-механических свойств компонентов исходной смеси траектория их движения будет меняться. Наибольшее влияние будут оказывать аэродинамические свойства компонентов, которые определяются коэффициентом парусности [9, 10]. Эту особенность необходимо учитывать при проектировании сепараторов. Необходимо также предусматривать анализ исходной смеси и оперативную регулировку сепаратора в процессе работы. Такая регулировка должна базироваться на данных оперативного анализа качества процесса сепарирования.

Схема сил, действующих на частицу зерновой смеси при ее движении в воздушном потоке, представлена в работе [11] (рис. 1). В этой же работе приведен математический расчет траекторий движения частиц с различными аэродинамическими характеристиками.

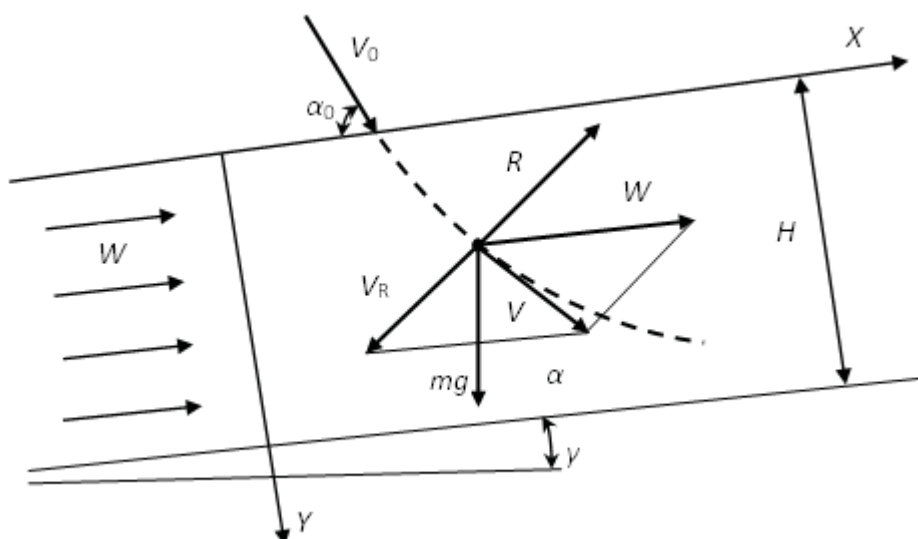


Рис. 1. Схема сил, действующих на частицу сепарируемого материала в наклонном воздушном канале:

W – скорость воздушного потока, м/с; V_0 – скорость ввода частиц в воздушный поток, м/с; α_0 – угол ввода, °; H – высота воздушного канала, м; γ – угол наклона воздушного канала к горизонту, °;

R – аэродинамическая сила, Н; mg – сила тяжести, Н;

V_R – относительная скорость движения частицы в воздушном потоке, м/с

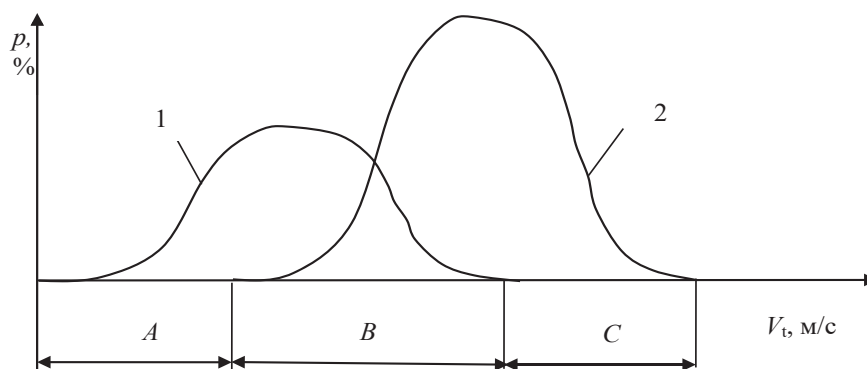


Рис. 2. Примерный график плотности распределения (p) компонентов основной культуры и примесей по скоростям витания (V): 1 – для примесей; 2 – для зерна основной культуры; A – протяженность зоны получения примесей в чистом виде; B – протяженность зоны получения смешанной фракции: зерно основной культуры и примеси; C – протяженность зоны получения зерна основной культуры в чистом виде

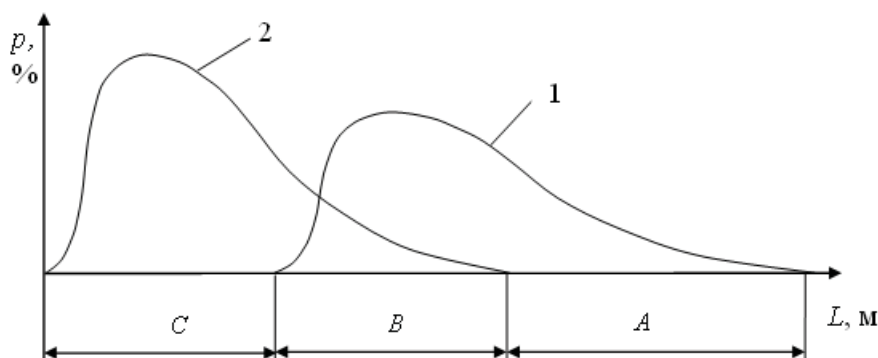


Рис. 3. Примерный график плотности распределения (p) компонентов основной культуры и примесей по длине приемного короба сепарирующей камеры (L): 1 – для примесей; 2 – для зерна основной культуры; A – протяженность зоны получения примесей в чистом виде; B – протяженность зоны получения смешанной фракции: зерно основной культуры и примеси; C – протяженность зоны получения зерна основной культуры в чистом виде

Аэродинамические характеристики зерна и его примесей принято характеризовать скоростью витания [11]. Это такая скорость вертикального воздушного потока, при которой частица находится во взвешенном состоянии. Статистическое распределение зерен основной культуры и примесей по скоростям витания подчиняется нормальному закону распределения. Кривые распределения зерна и примесей по скоростям витания частично перекрываются. В чистом виде удастся выделить воздушным потоком только часть зерна и часть примесей. Примерный график плотности распределения основного зерна и примесей по скоростям витания представлен на рис. 2 [11].

Примерное распределение зерна и примесей при их осаждении в сепарирующей

камере машины по длине приемного короба представлено на рис. 3.

График (рис. 3) имеет явно выраженную левостороннюю асимметрию. Распределение компонентов смеси по длине сепарирующей камеры характерно для функции плотности распределения Вейбулла [12, 13].

$$f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}, \quad (1)$$

где a и b – параметры (коэффициенты) Вейбулла, которые определяются по экспериментальным данным.

Интегральная функция распределения Вейбулла имеет следующий вид:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}. \quad (2)$$

Результаты расчетов по определению параметров Вейбулла при распределении зерна пшеницы

№ секции	$x_i \dots x_{i+1}$	\bar{x}_i, m	m_i, kg	P_i	$\bar{x}_i \cdot P_i$	$(T - \bar{x}_i)P_i$
1	0 – 0,1	0,05	0,900	0,0310	0,0016	0,0026
2	0,1 – 0,2	0,15	5,538	0,1910	0,0287	0,0067
3	0,2 – 0,3	0,25	10,980	0,3786	0,0947	0,0029
4	0,3 – 0,4	0,35	8,390	0,2893	0,1013	0,0000
5	0,4 – 0,5	0,45	2,820	0,0972	0,0437	0,0012
6	0,5 – 0,6	0,55	0,350	0,1207	0,0664	0,0055
7	0,6 – 0,7	0,65	0,020	0,0007	0,0005	0,0001
8	0,7 – 0,8	0,75	0,002	0,0000	0,0000	0,0000

$\sum m_i = 29; T = \sum (\bar{x}_i \cdot P_i) = 0,3369; \sigma^2 = 0,0190; v = \sigma / T = 0,41; a = 0,39.$

Если аппроксимировать экспериментальное распределение компонентов смеси по длине приемного короба сепарирующей камеры распределением Вейбулла, то это позволит в процессе сепарирования корректировать расположение зон приема фракций *A, B, C* (рис. 2) для получения более качественного результата сепарирования. Такая корректировка может потребоваться при изменении физико-механических свойств сепарируемой смеси, увеличении концентрации компонентов в сепарирующей камере. Для определения параметров распределения Вейбулла необходимо в процессе сепарирования взять пробы материала по длине сепарирующей камеры и провести их статистическую обработку.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве примера (таблица) приведена обработка экспериментальных данных, полученных при сепарировании зерна пшеницы с диапазоном скоростей витания в вертикальном воздушном потоке 8,0–10,8 м/с. При проведении эксперимента высота воздушного канала составила 0,55 м, угол ввода – 60°, угол наклона воздушного потока к горизонту – 0°. Зона приема зерна пшеницы (*C+B*) разбита на 8 секций. Длина каждой секции по 0,1 м.

Для определения параметров *a* и *b* необходимо вычислить среднее значение *T*, среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации *v*. Коэффициенты $b = 2,6$ и $c_b = 0,37$ определены с помощью таблиц [12, 13]. Коэффициент *a* определяется по формуле

$$a = \frac{\sigma}{c_b} \tag{3}$$

В результате обработки экспериментальных данных получено следующее вы-

ражение для функции плотности распределения Вейбулла:

$$f(x) = 6,67 \left(\frac{x}{0,39} \right)^{1,6} \cdot e^{-\left(\frac{x}{0,39} \right)^{2,6}} \tag{4}$$

Выражение (4) определяет функцию распределения зерна пшеницы по длине приемного короба сепарирующей камеры. Проверка адекватности полученного выражения с данными эмпирической выборки была проведена с помощью критерия согласия Пирсона χ^2 [13]. При уровне значимости 0,01 гипотеза о распределении Вейбулла согласуется с эмпирическим распределением.

Заключение

Представленная методика позволяет определять параметры закона распределения примесей по длине приемного короба сепарирующей камеры. Используя интегральные функции распределения зерна и примесей (2), можно оценить качественный состав полученного после сепарирования материала.

Приведенная методика оценки распределения компонентов по длине сепарирующей камеры позволит в процессе сепарирования выполнять корректировку расположения и протяженности зон приема компонентов для повышения качества сепарирования. Получение разнокачественных фракций материала после воздушного сепарирования, оценка их качественного состава позволит более рационально организовать последующую очистку материала.

Наиболее качественный материал можно извлекать в чистом виде на первом этапе обработки. На дальнейшую обработку в этом случае будет отправляться только промежуточная фракция *B* (рис. 2), имеющая существенно меньший объем по сравнению с исходным количеством материала.

В результате проведенных исследований установлено, что для зерна пшеницы длину приемного короба целесообразно устанавливать более 0,8 м. Для получения фракции чистого зерна на первом этапе сепарирования необходимо эту зону дополнительно разбить на две составляющие. Длину первой секции приемного короба следует установить так, чтобы в эту секцию не попадали примеси.

Дальнейшие исследования в данном направлении следует сосредоточить на определении параметров распределения Вейбулла для различного вида наиболее характерных примесей, находящихся в исходном материале. Совместный анализ аппроксимирующих зависимостей зерна основной культуры и примесей позволит определить процентный состав получаемых фракций в любой зоне приемного короба.

Список литературы

1. Piven V. The theoretical justification for the fractionation of bulk materials during separation, in: MATEC Web of Conferences. 2017. no. 106: 03005. [Электронный ресурс]. DOI: 10.1051/mateconf/201710603005.
2. Saitov V.E., Kurbano R.F., Suvorov A.N. Assessing the adequacy of mathematical models of light impurity fractionation in sedimentary chambers of grain cleaning machines, in: Procedia Engineering 2 series "2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016". P. 107–110.
3. Avdeev N.E., Chernukhin Y.V., Stranadko O.G. The search for new principles of separation. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2012. No 3. P. 24–26.
4. Ivanov N.M., Chepurin G.E. Power consumption at after-harvesting grain processing. Achievements of Science and Technology of AICis. 2017. Vol. 31. No. 4. P. 87–90.
5. Semenov E.V., Slavyanskiy A.A., Antipov S.T. Calculation of efficiency of process of fractionation of loose mix in the working volume of a pneumatic separator. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2015. No. 3 (65). P. 43–49.
6. Burkov A.I., Glushkov A.L., Lazykin V.A. Research of vertical pneumatic separating channel with supporting mesh. An Agrarian Science of Euro-North-East. 2015. No. 1 (44). P. 73–79.
7. Burkov A.I., Glushkov A.L., Lazykin V.A. Research of the dividing chamber of the fractional pneumoseparator at clearing of seeds of fodder grasses. An Agrarian Science of Euro-North-East. 2014. No. 5 (42). P. 69–74.
8. Shukhanov S.N. Planning and methods of carrying out experimental studies of the drum-type grain thrower. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015. No. 5 (55). P. 71–73.
9. Glushkov A.L. Analysis of moving process of grain material components in suction chamber of grain-cleaning machine. An Agrarian Science of Euro-North-East 2016. No. 4. P. 69–75.
10. Shukhanov S.N. Interaction elements of particles of grain lots with air during the work of the tape thrower. Agrarian Scientific Journal. 2015. No. 12. P. 58–59.
11. Piven V.V. Determination of the Extent of Fraction in Air Separation of Grain Material. Journal of Physics Conference Series. 2018. No. 1059 (1): 012001. DOI:10.1088/1742-6596/1059/1/012001.
12. Al-Aqtash R., Lee C., Famoye F. Gumbel-Weibull Distribution: Properties and Applications. Journal of Modern Applied Statistical Methods. 2014. Vol. 13. Iss. 2. Article 11. DOI: 10.22237/jmasm/1414815000.
13. Forbes C., Evans M., Hastings N. and Peacock B. Statistical Distributions. John Wiley & Sons. Hoboken. New Jersey. 2011. 212 p.