

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ ДЛЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ВВЕДЕНИЯ ЗЕРНА

Александр Нестеренко, Сергей Лещенко, Дмитрий Петренко, Дмитрий Богатырёв, Олег Кислун

*Кировоградский национальный технический университет
25006, г. Кировоград, пр. Университетский, 8*

*Alexander Nesterenko, Sergei Leshchenko, Dimitri Petrenko, Dmitry Bogatyrev, Oleg Kislun
Kirovograd National Technical University
25006 Kirovograd, University Ave, 8*

Аннотация. Статья посвящена теоретическому анализу работы пневмосепарационного канала с питательным устройством для многоуровневого введения зерновой смеси с целью повышения производительности и уменьшения сопротивления воздушному потоку. Предложены формулы для определения качественных показателей процесса сепарации и их связь с основными параметрами сепаратора.

Ключевые слова: воздушная сепарация, питательное устройство, многоуровневое введение зерна, пневмосепарационный канал, зерновая смесь, рабочая зона, сопротивление воздушному потоку.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

За последние годы в Украине увеличился объем выращивания зерновых культур. Это требует от хозяйств быстрой подготовки зерна к дальнейшей обработке и хранению.

Воздушная сепарация является одним из основных методов очистки зерна, преимуществом которой перед другими является то, что воздухом можно разделять любое зерно - от мелкого (люцерна, мак и др.) до крупного (кукуруза, бобы) и позволяет отделить более 50% посторонних примесей, значительно уменьшая его влажность.

Одной из основных операций в подготовке зерна является предварительная очистка, что уменьшает риск его самосогревания, позволяет сохранить его продовольственную и товарную ценность [1]. Для этого, как правило, используются комбинированные зерноочистительные машины, имеющие воздушную и решетной очистки.

Но в отличии от решётной части, воздушная имеет значительно меньшие показатели удельной нагрузки при которой качественные

показатели соответствуют агротехническим требованиям [2].

Распределение нагрузки в рабочей зоне пневмосепарационного канала (ПСК) определяет степень использования канала, и соответственно, эффективность его работы. Но вследствие неравномерной загрузки ПСК по глубине и высоте появляются перегруженные участки, и поскольку сопротивление воздуха на этих участках падает, то происходит перераспределение структуры воздушного потока и, как следствие, нарушается процесс сепарации [3-7].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Многочисленными исследованиями [3,4,6-16] определено, что одним из основных факторов, влияющим на эффективность пневмосепарации является удельная нагрузка на единицу ширины ПСК, увеличение которой негативно влияет на все остальные факторы, среди которых средняя скорость и равномерность поля скоростей воздушного потока.

Решению этой проблемы посвящено множество научно-технических решений и разработок [7-15], но в большинстве случаев это приводит к увеличению энергоёмкости за счёт использования дополнительных каналов для предварительной подготовки зерновой смеси или установка элементов, выравнивающих структуру воздушного потока, но при этом создавая дополнительное сопротивление. Поэтому такие технические устройства уменьшают технологическую эффективность пневмосепарации и не являются перспективными для решения поставленной задачи.

Одним из перспективных направлений уменьшения сопротивления воздушному потоку является использование питающего

устройства для многоуровневого ввода зерновой смеси в ПСК (рис.1), который равномерно распределяет материал в поперечном и продольном сечениях и способствует снижению сопротивления воздушному потоку как в зоне введения так и выведения зерна, и соответственно, выравниванию эпюры скоростей [16,17].

Такая конструкция обеспечивает разделение зернового материала на несколько ограниченных по производительности потоков, поступающие в разные рабочие зоны по высоте ПСК и позволяет равномерно распределить материал в зоне сепарации [18-20].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью исследования является математическое определение основных закономерностей процесса пневмосепарации предложенного ПСК для обеспечения равномерного распределения зернового материала в зоне сепарации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для этого была разработана и изготовлена экспериментальная установка, схема которой представлена на рис.1. Она позволяет изменять основные параметры и режимы работы в необходимых пределах. Боковая стенка ПСК изготовлена прозрачной из оргстекла, что обеспечивает возможность наблюдения за процессом.

Основными составными частями установки являются: бункер 1, ПСК 2, вентилятор 6, осадочная камера 5, питательное устройство 3 и выводной канал 12.

Питательное устройство 3 для многоуровневого введения зерна состоит из направляющих поверхностей 9, установленных друг над другом, верхние концы которых соединены с распределительной пластиной 8, в которой выполнены отверстия прямоугольной формы, а их нижние концы соединены с передней стенкой ПСК 4.

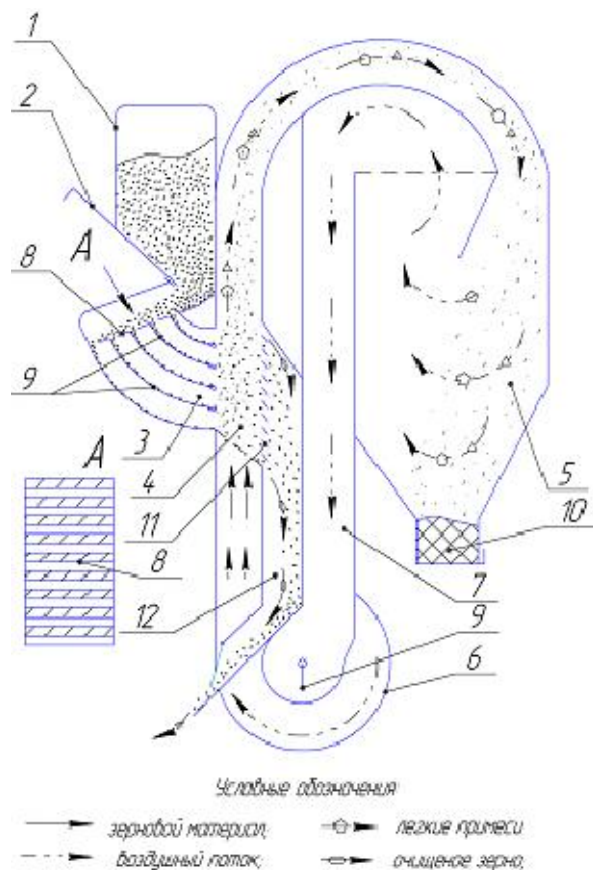


Рис.1 Экспериментальная установка для исследования пневмосепарационного канала с питательным устройством для многоуровневого введения зерна

Fig. 1. Experimental setup for studying of air separation channel is considered with multilevel introduction

Принцип работы заключается в следующем. Исходный материал из бункера 1 поступает на распределительную пластину 8 питательного устройства 3, установленной под углом к горизонту, что позволяет зерновым частицам двигаться с достаточной скоростью. Просыпаясь в отверстия распределительной пластины зерновой материал попадает на направляющие поверхности питательного устройства 9 и тонкими слоями вводится в рабочую зону ПСК.

Под действием воздушного потока, созданного вентилятором 6, исходный зерновой материал разделяется на две фракции: легкие примеси, которые выносятся в осадочную камеру 5, попадая в приёмник 10, и очищенное зерно, которое через жалюзийную стенку 11 и далее через выводной канал 12, выполненный герметичным, выводится из ПСК.

Рассмотрим часть ПСК в зоне ввода зернового материала с помощью предложенного питательного устройства (рис.2).

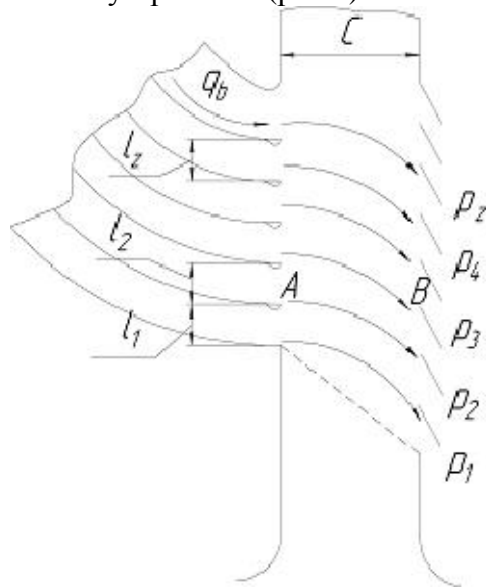


Рис. 2. Схема технологического процесса работы пневмосепарационного канала с питательным устройством для многоуровневого введения зерна

Fig. 1. Process Flow Diagram of air separation channel is considered with multilevel introduction

Распределение зерновых частиц в ПСК можно считать удовлетворительным, если в каждой элементарной области его поперечного сечения будет находиться одинаковое их количество.

Характерной особенностью исследуемого ПСК является то, что процесс сепарации в нем происходит одновременно на нескольких участках l_i по высоте канала. Выделение легких примесей из слоя зернового материала осуществляется за время его движения от передней стенки А до задней В. Далее он выводится через жалюзи за пределы влияния воздушного потока, а воздушный поток выполняет аналогичное разделение зерновой смеси на следующих участках l_2, l_3 и т.д. по высоте ПСК.

Таким образом, весь технологический процесс работы ПСК можно представить как сумму однотипных элементарных процессов сепарации, протекающих одновременно на нескольких отдельных участках по высоте ПСК, и общую производительность можно определить по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^z q_{bi} \cdot b \cdot z, \quad (1)$$

где: q_{bi} – удельная нагрузка на i –том участке;

b – ширина пневмосепарационного канала;

z – количество рабочих участков.

Для заданной производительности ПСК Q , при известном рациональном значении удельной нагрузки q_{bi} , количество элементарных участков ПСК, будет равно:

$$z = \frac{Q}{q_b \cdot b}, \quad (2)$$

Степень разделения обрабатываемого материала ε , которая определяется как отношение количества примесей, что выделились P_i , к его количеству в исходном материале на каждом участке P_0 , в рассматриваемом случае может быть представлена выражением:

$$\varepsilon = \frac{P_1 + \dots + P_{z-1} + \dots + P_z}{\sum P_0} = \frac{\sum_{i=1}^{z-1} P_i}{\sum P_0} \quad (3)$$

где: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_z$ – количество примесей, которые выделились соответственно на I, II, III, ... Z участках.

При наличии равнозначных нагрузок и условий движения обрабатываемого материала на всех уровнях, процесс выделения примесей на каждом участке будет проходить аналогично.

Обозначим горизонтальный путь движения обрабатываемого материала по глубине канала C , через x , а количество примесей, которые находятся в нем через y . Считая, что изменение количества примесей в зерновом материале dy на бесконечно малой величине его перемещения в канале dx , пропорциональна количеству примесей, поступающих на этот участок, а отношение изменения скорости функции $\frac{dy}{dx}$ на единицу функции y , есть величина постоянная, равная коэффициенту сепарации k [4]. Тогда, с учетом уменьшения y при увеличении x можно составить дифференциальное уравнение процесса выделения примесей на каждом участке:

$$-\frac{dy}{dx} = ky. \quad (4)$$

После интегрирования получим:

$$\ln y = -kx + c, \quad (5)$$

где: c – постоянная интегрирования.

Принимая $c = \ln c_1$ получим:

$$y = c_1 \cdot e^{-kx}, \quad (6)$$

где: e – основа натурального логарифма.

Подставляя в выражение (5) начальные условия $x=0$ и $y_0 = \psi_{oi}$ находим:

$$y_0 = \psi_{oi} = c, \quad (7)$$

где: ψ_{oi} – относительное содержание примесей в начале i -того участка в долях от единицы.

Остаток примесей в обрабатываемом материале на расстоянии x от места подачи с учетом что $x = v \cdot t$, равна:

$$y_i = \psi_{oi} \cdot e^{-kvt}, \quad (8)$$

где: t – время движения материала от передней к задней стенке ПСК, м;

v – горизонтальная составляющая начальной скорости введения зерна, м/с.

Количество примесей, которые выделились в осадочную камеру для i -го участка можно определить по формуле:

$$y_{\text{вуд}_i} = \psi_{oi} - y_i = \psi_{oi} (1 - e^{-kvt}), \quad (9)$$

Тогда степень разделения зернового материала для i -го участка составит:

$$\mathcal{E}_i = \frac{y_{\text{вуд}_i}}{\psi_{oi}} = 1 - e^{-kvt}, \quad (10)$$

Подставляя в выражение (3) вместо абсолютных величин P_0, \dots, P_{Z-1}, P_z , соответственно их относительные значения $\psi_0, y_1, y_{Z-1}, \dots, y_z$ для ПСК в целом получим:

$$\mathcal{E} = \frac{y_{\text{вуд}_1} + \dots + y_{\text{вуд}_{Z-1}} + \dots + y_{\text{вуд}_Z}}{\sum \psi_0} = \frac{\sum_{i=1}^z y_{\text{вуд}_i}}{\sum \psi_0}, \quad (11)$$

Откуда с учётом уравнения (9), получим:

$$\mathcal{E} = \frac{\psi_1(1 - e^{-kvt}) + \psi_{Z-1}(1 - e^{-kvt}) + \dots + \psi_z(1 - e^{-kvt})}{\sum \psi_0}, \quad (12)$$

где: $\psi_1 = \psi_0$;

$$\psi_2 = \psi_0 - y_1 = \psi_0 - \psi_0(1 - e^{-kvt}) = \psi_0 \cdot e^{-kvt};$$

.....

$$\psi_z = \psi_0 - y_2 - \dots - y_{z-1} = \psi_0 \cdot e^{-(z-1)kvt}, \quad (13)$$

Подставляя эти значения в выражение (12) и выполнив необходимые математические преобразования, получим:

$$\mathcal{E} = 1 - e^{-z kvt}. \quad (14)$$

Поскольку глубина канала $C = vt$, то при известном значении коэффициента сепарации k из выражения (13) можно определить

глубину канала, необходимую для получения заданного качества разделения:

$$C = k \cdot z \cdot \ln \frac{1}{1 - \mathcal{E}}. \quad (15)$$

После подстановки в это выражение вместо z его значение с уравнения (2), получим выражение, которое связывает основные параметры ПСК с его главными показателями работы, производительностью и качеством разделения материала:

$$C = \frac{Q}{k \cdot q_{b_1} \cdot b} \cdot \ln \frac{1}{1 - \mathcal{E}}. \quad (16)$$

Отсюда по известным параметрам ПСК для заданного качества разделения обрабатываемого материала \mathcal{E} , производительность пневмосепарации для многоуровневого введения зерна может быть определена по формуле:

$$Q = \frac{q_{b_1} \cdot b \cdot k \cdot C}{\ln \frac{1}{1 - \mathcal{E}}}. \quad (17)$$

Для аналитического определения коэффициента сепарации ПСК преобразуем уравнение (14), решив его относительно k и подставив вместо \mathcal{E} значение с уравнения (11):

$$k = z \cdot C \ln \left(\frac{\psi_0}{\psi_0 - \sum_{i=1}^z y_{\text{вуд}_i}} \right). \quad (18)$$

Как видно из уравнения, увеличение выделения приводит к увеличению коэффициента сепарации. Поэтому, для получения наиболее высоких значений, нужно стремиться обеспечить рациональные условия как для движения зернового материала так и для выделения примесей.

ВЫВОДЫ

Выявлены основные причины ухудшения работы пневмосепарационных каналов при увеличении удельной нагрузки. Предложено новое научно-техническое решение для уменьшения сопротивления ПСК и увеличение производительности за счёт использования питательного устройства для многоуровневого введения зерна.

В результате представленного теоретического анализа получены уравнения, связывающие основные параметры исследуемого ПСК с его главными технологическими показателями, производительностью и полнотой разделения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. I. Podprjatov G., Skalec'ka L., Sen'kov A., Hilevich V. 2002. Zberigannja i pererobka produkcii roslinnictva. K: «Meta», 53-117.
2. GOST 5888-74. Mashini zernoochisni zagal'nogo priznachennja. Tipi ta osnovni parametri. M., 1975.
3. Malis A., Demidov A. 1962. Mashiny dlja ochistki zerna vozdušnym potokom, M., Mashgiz, 176.
4. Burkov A. 2000. Zernoochistitel'nye mashiny. Konstrukcija, issledovanie, raschet i ispytanie / A. Burkov, N. Sychugov – Kirov: izd-vo NIISH Severo-Vostok.– 258.
5. Jampilov S. 2003. Tehnologicheskoe i tehničeskoe obespečenie resurso-jenergoberegajushhih processov ochistki i sortirovanija zerna i semjan / S. Jampilov. – Ulan-Udje: Izd-vo VSGTU.– 262.
6. Matveev A. 1973. Issledovanie pcessa separirovanija zernovoj smesi vertikal'novoshodjashhim vozdušnym potokom. Avtorefer. Dis. kand. tehn. nauk, M.-29.
7. Zlochevskij V. 1985. Intensifikacija processa aerodinamičeskogo razdelenija zernovyh materialov. Dis.dokt. tehn. nauk. – Barnaul, 490.
8. Veden'ev V. 1972. Issledovanija processa pnevmoseparirovanija produktov shelushenija prosa: avtoref. dis. na prisv. nauch. step. kand. tehn. nauk: spec. 05.20.01 «Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva» / V.F. Veden'ev – MTPP.– 20.
9. Turov A. 1984. Pnevmosteparator zerna s predvaritel'noj podgotovkoj v ploskoparalel'nom vozdušnom pole//Sibirskij vesnik s-h nauki.- - №2, 86-90.
10. Orlov A. 1985. Separacija zerna v peremennom po napravleniju vozdušnom potoke. Dis.k.t.n. Novosibirsk. – 194.
11. Sabashkin V. 1985. Razdelenie zernovogo voroha v strujnom vozdušnom potoke//Intensifikacija processa sovershenstvovanija posleuboročnoj obrabotki zerna: VASHNIL. Sib. otd.- Novosibirsk, 101-106.
12. Saitov V. 1991. Povyšenie jeffektivnosti funkcionirovanija mashiny predvaritel'noj ochistki zernovogo voroha sovershenstvovanjem osnovnyh rabochih jelementov: diss. kand. tehn. nauk 05.20.01 / V.E. Saitov. – Kirov.– 142.
13. Korneev S. 2002. Intensifikacija rabočego processa zernoochistitel'noj mashiny predvaritel'noj ochistki putjom frakcionirovanija zernovogo materiala: Dis. kand. tehn. nauk. Kirov. – 185.
14. Mjakin V., Urjupin S. 2000. Sovershenstvovanie pnevmatičeskikh separatorov semjan «Tehnika v sel'skom hozjajstve», №4.
15. Tavtilov I. 2008. Sovershenstvovanie processa raboty pnevmoseparatora za schet racional'noj podachi zernovoj smesi v vozdušnyj potok: avtoref. dis. na prisv. nauch. step. kand. tehn. nauk: spec. 05.20.01 «Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva» / I.Sh. Tavtilov. – Cheljabinsk.– 22.
16. M.I. Vasil'kovs'kij, O.M. Vasil'kovs'kij, S.M. Leshhenko O. 2006. Nesterenko O.V. Doslidzhennja roboti pnevmoseparujučogo kanalu na fizičnij modeli//Zbirnik naukovih prac' Kirovograds'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu. (Tehnika v sil's'kogospodars'komu virobnictvi, galuzeve mashinobuduvannja, avtomatizacija) – Vip.17, Kirovograd: KNTU. – 44-48.
17. Nesterenko O, Vasil'kovs'kij O., Leshhenko S, Petrenko D., Bogatir'ov D. 2012. Perspektivnij naprjamok intensifikacii povitrjanoi separacii. zerna//Zbirnik naukovih prac' Kirovograds'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu. (Tehnika v sil's'kogospodars'komu virobnictvi, galuzeve mashinobuduvannja, avtomatizacija). Vipusk 25. – Kirovograd: KNTU.– 49-53.
18. Vasil'kovs'kij M., Vasil'kovs'kij O., Moroz S., Leshhenko S., Nesterenko O. 2005. Povitrjanij separator.- Pat. (11) 8058 A Ukraïna, MKI V 02 V 1/00 (Ukraïna).- № u200500190; Zajavl. 10.01.05; Opubl. 15.07.2005.- Bjul. №7.
19. Vasil'kovs'kij M.I., Vasil'kovs'kij O.M., Moroz S.M., Leshhenko S.M., Nesterenko O.V., Kosinov M.M. Povitrjanij separator.- Pat. (11) 9042 A Ukraïna, MKI V 02 V 1/00 (Ukraïna).- № 20041008509; Zajavl. 19.10.04; Opubl. 15.09.2005.- Bjul. №9.
20. Patent na korisnu model' № 45406 Ukraïna, MPK V02V 1/00. Povitrjanij separator / Vasil'kovs'kij M.I., Vasil'kovs'kij O.M., Leshhenko S.M., Nesterenko O.V., Bogatir'ov D.V.; Kirovograds'kij nacional'nij tehničnij universitet. Zajavka №u200905484; zajavl. 01.06.2009; opubl. 10.11.2009, Bjul. № 21.

THE THEORETICAL JUSTIFICATION OF AIR SEPARATION PROCESS QUALITY FACTORS FOR THE MULTILEVEL GRAIN INTRODUCTION

Summary. The article is devoted to the theoretical analysis of the work of the aspirating channel with the feeder for the multilevel grain mixture introduction for the purpose of efficiency improving and air flow drag reduction. There are the formulas suggested for the definition of separation process quality factors and their connection with the main separator characteristics.

Key words: air separation, feeder, multilevel grain introduction, airseparating channel, grain mixture, working space, air flow resistance