

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.362.36

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-4-22-27

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА МАШИНЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА**БУРКОВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ**, *д-р техн. наук, профессор*burkov.46@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>**ГЛУШКОВ АНДРЕЙ ЛЕОНИДОВИЧ**✉, *канд. техн. наук*glandrey@yandex.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>**ЛАЗЫКИН ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ**, *канд. техн. наук*ellestar@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3910-8620>**МОКИЕВ ВАЛЕНТИН ЮРЬЕВИЧ**, *канд. техн. наук*dizel154@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Аннотация. Повышение производительности пневмосистем зерноочистительных машин достигается за счет увеличения размеров и количества пневмосепарирующих каналов. Но при увеличении глубины канала повышается неравномерность поля скоростей воздушного потока в зоне сепарации, в отводе пневмосепарирующего канала образуется неравномерный воздушный поток, обусловленный действием центробежных сил, что негативно влияет на качество очистки зерна. Цель исследования: повышение качества очистки зернового материала пневмосепарирующим устройством машины предварительной очистки зерна за счёт выравнивания воздушного потока в верхней части и начале отвода пневмосепарирующего канала путём установки в отводе направляющей лопатки и оптимизации её параметров. На лабораторной установке пневмосистемы машины предварительной очистки зерна проводились замеры скоростей воздушного потока в пневмосепарирующем канале и его отводе на холостом ходу, а также очистка искусственно приготовленной зерновой смеси влажностью 14%, состоящей из зерна ячменя сорта Зазёрский (95%) и лёгких примесей (5%). Удельная подача зернового материала в пневмосепарирующий канал соответствовала 7,94 кг/(с·м), потери полноценного зерна в отходы составляли 0,05%. В результате аэродинамического исследования отвода пневмосепарирующего канала без направляющей лопатки в его начальном сечении установлена значительная неравномерность воздушного потока: коэффициент вариации скорости воздуха по глубине канала составил 0,29, что превышает целевые значения (0,20...0,25). Установка направляющей лопатки с оптимальными параметрами способствует выравниванию воздушного потока в верхней части канала и начале его отвода, что положительно влияет на процесс пневмосепарации. При радиусе лопатки 0,20 м, угле ее дуги 80°, глубинах входного и выходного сечений внутренней части отвода 0,105 и 0,066 м соответственно эффект очистки зернового материала от лёгких примесей повышается на 6,6% (от 61,2 до 67,8%).

Ключевые слова: машина предварительной очистки зерна, пневмосепарирующее устройство, пневмосепарирующий канал, отвод канала, направляющая лопатка, эффект очистки от лёгких примесей, воздушный поток.

Формат цитирования: Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А., Мокиев В.Ю. Повышение эффективности пневмосепарирующего устройства машины предварительной очистки зерна // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. С. 22-27. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-22-27>.

© Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А., Мокиев В.Ю., 2022



ORIGINAL PAPER

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE PNEUMATIC SEPARATING DEVICE OF A GRAIN PRE-CLEANER**ALEKSANDR I. BURKOV**, *DSc (Eng), Professor*burkov.46@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>**ANDREY L. GLUSHKOV**✉, *PhD (Eng)*glandrey@yandex.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>**VIKTOR A. LAZYKIN**, *PhD (Eng)*ellestar@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3910-8620>**VALENTIN YU. MOKIEV**, *PhD (Eng)*dizel154@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>

Federal Agricultural Research Centr of the North-East named after N.V. Rudnitskiy; 166a, Lenina Str., Kirov, 610007, Russian Federation

Abstract. An increase in the productivity of pneumatic systems of grain cleaners is achieved by increasing the size and number of pneumatic separating channels. But as the channel depth increases, the non-uniformity of the air flow velocity field in the separation zone

increases too, and an uneven air flow is formed in the outlet of the pneumatic separating channel, due to the action of centrifugal forces, which negatively affects the quality of grain cleaning. The purpose of the study is to improve the quality of grain material cleaning with an air-separating device of a grain pre-cleaner by equalizing the air flow in the upper part and the front part of the air-separating channel outlet by installing a guide vane in the outlet and optimizing its parameters. The authors measured the air flow rates in the pneumatic separating channel and its outlet in the idle mode at the laboratory installation of the pneumatic system of a grain pre-cleaner, as well as analyzed the cleaning of the artificially prepared grain mixture with a moisture content of 14%, consisting of barley grain of the Zazersky variety (95%) and light impurities (5%). The specific supply of grain material to the pneumoseparating channel corresponded to 7.94 kg/(s·m), the loss of valuable grain to waste was 0.05%. As a result of an aerodynamic study of the pneumatic separating channel outlet without a guide vane, a significant non-uniformity of the air flow was established in its initial section: the coefficient of air velocity variation along the channel depth amounted to 0.29, which exceeds the target values (0.20...0.25). Installing a guide vane with optimal parameters contributes to the alignment of the air flow in the upper part of the channel and the front part of its outlet, which has a positive effect on pneumoseparation. With the vane radius of 0.20 m, an angle of its arc of 80°, depths of the inlet and outlet sections of the inner part of the outlet of 0.105 and 0.066 m, respectively, the cleaning effect of the grain material from light impurities increases by 6.6% (from 61.2 to 67.8%).

Key words: grain pre-cleaner, air separating device, air separating channel, channel outlet, guide vane, cleaning effect from light impurities, air flow.

For citation: Burkov A.I., Glushkov A.L., Lazykin V.A., Mokiev V.Yu. Increasing the efficiency of the pneumatic separating device of a grain pre-cleaner. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(4): 22-27. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-22-27>.

Введение. Основными направлениями совершенствования зерноочистительных машин являются увеличение их производительности и повышение эффективности технологического процесса на всех этапах обработки¹ [1]. Повышение производительности пневмосистем достигается за счет увеличения размеров и количества пневмосепарирующих каналов (ПСК). Например, одинарные ПСК высокопроизводительных машин предварительной очистки МПО-50 и МПО-100 имеют рабочую ширину 1,52 м и глубину 0,24 и 0,32 м соответственно, а машина предварительной очистки зерна МПЗ-50 снабжена каналами предварительной и основной очистки шириной 1,4 м, глубиной 0,07 и 0,21 м, последовательно обрабатываемыми материал до решёт^{2,3} [2, 3].

В пневмосистемах указанных машин применены диаметрально-радиальные вентиляторы, создающие равномерный плоскопараллельный воздушный поток по ширине пневмосепарирующих каналов [4-6].

При больших размерах поперечного сечения ПСК увеличивается пропускная способность, но ввиду неравномерного поля скоростей по глубине канала в зоне сепарации снижается максимальный эффект выделения лёгких примесей. Даже при работе пневмосистемы вхолостую в отводе ПСК наблюдается неравномерность распределения скоростей, обусловленная действием центробежных сил⁴. Вблизи внутренней стенки отвода скорость потока возрастает, а вблизи внешней стенки снижается. При подаче зернового материала в канал поле скоростей в зоне сепарации также изменяется вследствие уменьшения плотности слоя при его перемещении от места ввода до противоположной стенки канала [7]. Неравномерное поле скоростей не позволяет удалить из зернового материала максимально возможное количество лёг-

ких примесей при допустимых потерях полноценного зерна в отходы^{5,6}. Повышение эффективности выделения лёгких примесей возможно за счёт равномерного распределения зернового материала и скорости воздушного потока по поперечному сечению ПСК во всей зоне сепарации включая начало отвода. Распределение скорости потока воздуха в отводе ПСК можно улучшить увеличением относительного внутреннего радиуса, поджатием потока за поворотом и установкой направляющих лопаток, которые, помимо того, уменьшают габаритные размеры установки и снижают гидравлическое сопротивление. Из аэродинамики промышленных аппаратов известны оптимальное число, размеры и место установки направляющих лопаток для обеспечения равномерного воздушного потока на выходе из отвода. Однако в технической литературе отсутствуют сведения о влиянии лопаток на изменение поля скоростей на входе в отвод, что крайне важно знать при рассмотрении технологического процесса ПСК.

Компоненты зернового материала в зависимости от их скорости витания перемещаются в наклонном ПСК по различным траекториям. Лёгкие примеси имеют круто восходящие траектории и поступают в отвод ближе к наружной стенке. Полноценные зерновки, имеющие более высокую скорость витания, при движении вверх смещаются в сторону внутренней стенки отвода, попадают в зону высоких скоростей и могут быть удалены вместе с лёгкими примесями в отходы, что приводит к снижению качества очистки зернового материала.

Цель исследований: повышение качества очистки зернового материала пневмосепарирующим устройством машины предварительной очистки зерна за счёт выравнивания воздушного потока в верхней части и начале отвода ПСК путём установки в отводе направляющей лопатки и оптимизации её параметров.

Материалы и методы. Исследование пневмосепарирующего устройства проводили на лабораторной установке

¹ Дринча В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж: НПО «Модэк», 2006. 382 с.

² Бурков А.И., Сычугов Н.П. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчёт и испытание. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 261 с.

³ Коньшев Н.Л. Разработка и совершенствование технологических линий и технических средств послепосевочной обработки зерна и семян трав. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2018. 348 с.

⁴ Идельчик И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов (подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов). М.: Машиностроение, 1983. 351 с.

⁵ ГОСТ 33735-2016. Техника сельскохозяйственная. Машины зерноочистительные. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2017. 53 с.

⁶ Ревякин Е.Л., Антышев Н.М. Технологические требования к новым техническим средствам в растениеводстве. М.: Росинформагротех, 2008. 60 с.

пневмосистемы машины предварительной очистки зерна МПЗ-50^{7,8}. Лабораторная установка имела ширину проточной части 0,3 м и натуральные размеры в продольно-вертикальной плоскости.

Рабочий процесс пневмосистемы (рис. 1а) осуществляется следующим образом. Обрабатываемый ворох при помощи шнека загрузочно-распределительного устройства 5 равномерно распределяется по ширине пневмосистемы и через выходное окно подается на питающий валик 2. Во время свободного падения в приёмной камере 4 материал продувается боковым воздушным потоком, всасываемым диаметральной вентилятором 10 из атмосферы через входное окно 3. При этом пыль и часть лёгких примесей поступают в канал предварительной очистки 6 и транспортируются в осадочную камеру 9. Оставшиеся лёгкие примеси смещаются в падающем зерновом материале в сторону смежной стенки приёмной камеры 4 и пневмосепарирующего канала 1 и укладываются в желобки питающего валика 2 поверх зернового материала. Питающий валик 2 подает материал в пневмосепарирующий канал 1. В канале 1 окончательно выделяются оставшиеся лёгкие примеси, которые уносятся воздушным потоком в осадочную камеру 9, где они осаждаются и при помощи выгрузного шнека 13 выводятся наружу. Отработанный воздушный поток через диаметральный вентилятор 10 и выходной патрубок 11 направляется в пылеуловитель (на рисунке 1 не показан). Очищенный от лёгких примесей материал через нижнюю часть канала 1 выводится за пределы пневмосистемы. Скорость воздушного потока в пневмосепарирующем канале 1 и канале предварительной очистки 6 устанавливается с помощью дроссельных заслонок 8 и 12 по допустимым потерям полноценного зерна в отходы.

Экспериментальное исследование пневмосепарирующего устройства (рис. 1б) включало в себя снятие полей скоростей воздушного потока в пневмосепарирующем канале и его отводе на холостом ходу, а также определение эффективности очистки зернового материала ПСК при различном конструктивном исполнении его отвода: с установленной направляющей лопаткой и без неё.

Для проведения опытов использовали искусственно приготовленную в количестве 15 кг зерновую смесь влажностью 14%, состоящую из зерна ячменя сорта Зазёрский (95%) и лёгких примесей (5%). В качестве лёгких примесей применяли древесный опил, аэродинамические свойства которого схожи с аэродинамическими свойствами лёгких примесей. Скорость витания частиц опила составляла 0,5...5,5 м/с, а зерна ячменя – 5,0...12,0 м/с. Теоретически при скорости воздушного потока в ПСК 5,0 м/с из зерновой смеси можно выделить до 98% лёгких примесей без потерь полноценного зерна в отходы.

Удельная подача зернового материала в исследованиях составляла 7,94 кг/(с · м), что соответствовало производительности машины 40 т/ч при ширине её проточной части 1,4 м.

Равномерность воздушного потока по глубине пневмосепарирующего канала и его отвода оценивали коэффициентом μ вариации скорости воздуха, а качество работы ПСК – эффектом E очистки зерновой смеси от лёгких примесей (отношение массы выделенных примесей к их массе в исходном

материале, %). Настройку скоростного режима пневмосепарирующего канала осуществляли по допустимым потерям полноценного зерна в отходы при предварительной очистке (0,05%)⁹. Опыты проводили в трёхкратной повторности.

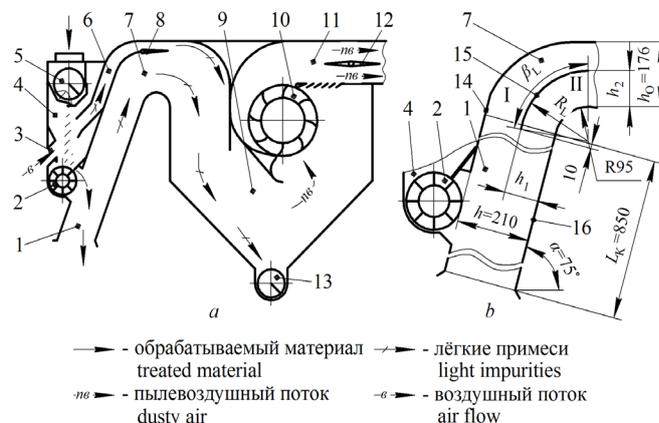


Рис. 1. Пневмосистема машины предварительной очистки зерна МПЗ-50:

- a – технологическая схема;
 - b – схема пневмосепарирующего устройства:
 - 1 – пневмосепарирующий канал; 2 – питающий валик;
 - 3 – входное окно; 4 – приёмная камера;
 - 5 – загрузочно-распределительное устройство;
 - 6 – канал предварительной очистки; 7 – отвод;
 - 8, 12 – дроссельная заслонка; 9 – осадочная камера;
 - 10 – диаметральный вентилятор; 11 – выходной патрубок;
 - 13 – выгрузной шнек лёгких примесей;
 - 14 – наружная стенка ПСК; 15 – направляющая лопатка;
 - 16 – внутренняя стенка ПСК;
 - I, II – внешняя и внутренняя части отвода
- Fig. 1. Pneumatic system of the MPZ-50 grain pre-cleaner:
- a – technological diagram;
 - b – scheme of the pneumatic separating device:
 - 1 – aspirating channel; 2 – feed roller; 3 – input port;
 - 4 – receiving chamber; 5 – loader-distributor;
 - 6 – pre-cleaning channel; 7 – channel knee;
 - 8, 12 – throttling plate; 9 – sedimentation chamber;
 - 10 – cross flow fan; 11 – outlet pipe;
 - 13 – unloading auger for light impurities;
 - 14 – outer wall of the aspirating channel;
 - 15 – guide vane; 16 – inner wall of the aspirating channel;
 - I and II – outer and inner parts of the knee

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследование проводилось без установки в отводе направляющей лопатки (рис. 2а). Замеры скоростей воздушного потока осуществляли в начальном сечении С отвода ПСК, а также в двух сечениях А и В канала, расположенных на расстоянии 0,170 и 0,065 м до начала отвода соответственно.

В сечении А ПСК воздушный поток достаточно равномерный. Средняя скорость воздуха составляет 11,32 м/с. Коэффициент вариации скорости воздушного потока по глубине канала в данном сечении составляет: $\mu = 0,16$ (хорошее качество воздушного потока характеризуется значением коэффициента вариации скорости не более 0,20...0,25). При движении воздушного потока в сторону отвода происходит перераспределение скоростей воздуха по глубине канала.

⁷ Завалишин Ф.С., Мацнёв М.Г. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства. М.: Колос, 1982. 231 с.

⁸ Кошурников А.Ф. Основы научных исследований: Учебное пособие. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. 317 с.

⁹ СТО АИСТ 10.2-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Зерноочистительные машины и агрегаты, зерноочистительно-сушильные комплексы. Методы оценки функциональных показателей. М., 2011. III. 48 с.

Так, скорость воздуха вблизи наружной стенки ПСК в сечении *C* снижается на 2,22 м/с (от 8,48 до 6,26 м/с) по сравнению с сечением *A*, а скорость воздуха вблизи внутренней стенки ПСК возрастает на 3,23 м/с (от 11,99 до 15,22 м/с). Коэффициент вариации скорости воздушного потока по глубине канала в сечении *B* составил: $\mu = 0,21$, а в сечении *C* $\mu = 0,29$, что превышает целевые значения.

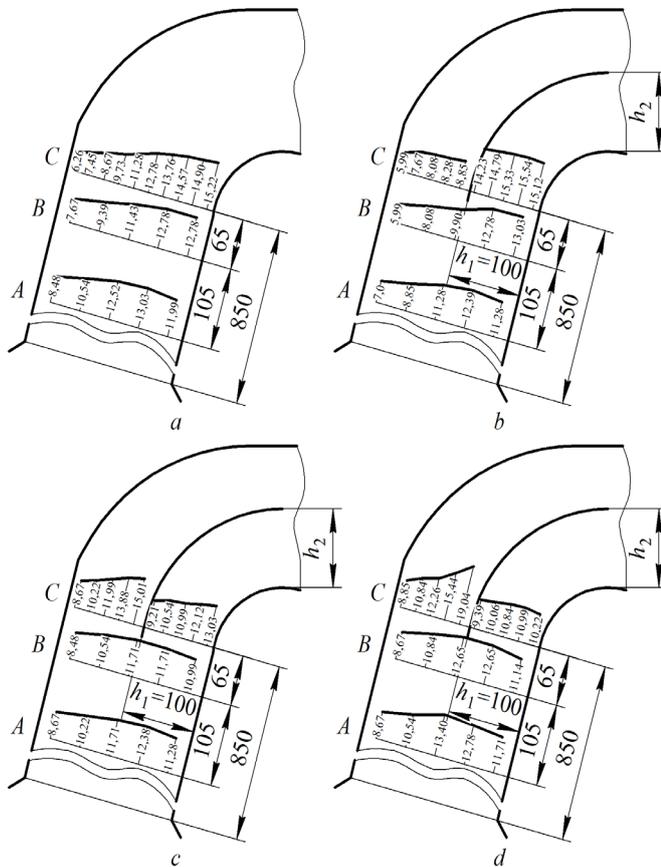


Рис. 2. Эпюры скоростей воздушного потока в пневмосепарирующем устройстве машины предварительной очистки зерна на холостом ходу:

- a* – без направляющей лопатки;
- b* – с направляющей лопаткой при $h_2 = 0,100$ м;
- c* – с направляющей лопаткой при $h_2 = 0,064$ м;
- d* – с направляющей лопаткой при $h_2 = 0,052$ м

Fig. 2. Diagrams of the air flow velocities in the pneumatic separating device of the grain pre-cleaner in the idle mode:
a – without a guide vane; *b* – with a guide vane at $h_2 = 0,100$ м;
c – with a guide vane at $h_2 = 0,064$ м;
d – with a guide vane at $h_2 = 0,052$ м

Улучшить равномерность распределения скорости воздушного потока в отводе ПСК можно за счет установки в нем направляющих лопаток. Выбор количества направляющих лопаток с учетом технологического процесса очистки зернового вороха, содержащего соломистые примеси длиной до 50 мм, предполагает минимально возможное их количество. По результатам теоретического исследования отвода пневмосепарирующего канала, проведённого с использованием методов математического моделирования газовых течений с помощью системы автоматизации проектирования (САПР) SolidWorks и программного комплекса FlowVision, определены: рекомендуемое число направляющих лопаток $n = 1$; радиус кривизны лопатки $R_L = 0,195$ м; угол её дуги $\beta_L = 80^\circ$.

На следующем этапе исследования при установленной в отводе направляющей лопатке 5 (рис. 1) замеры скоростей воздушного потока проводились в тех же сечениях ПСК *A*, *B* и *C*. Направляющая лопатка 5 делит отвод 6 на две части: внешнюю I и внутреннюю II. Внешняя часть отвода ограничена по глубине наружной стенкой ПСК 4 и направляющей лопаткой 5, а внутренняя – направляющей лопаткой 5 и внутренней стенкой ПСК 7. Направляющая лопатка 5 в отводе 6 расположена таким образом, что её нижняя кромка находится ниже начального сечения отвода 6 ПСК на 0,01 м и на расстоянии 0,10 м от внутренней стенки ПСК 7. Исследования проводили при различном положении верхней кромки направляющей лопатки по вертикали (изменяли глубину выходного сечения h_2 внутренней части отвода от 0,052 до 0,100 м с интервалом 0,012 м).

Установка направляющей лопатки при глубине $h_2 = 0,100$ м (рис. 2*b*) увеличивает неравномерность поля скоростей воздуха по глубине ПСК. Так, в сечении *A* коэффициент μ вариации скорости воздушного потока возрос на 0,06 (от 0,16 до 0,22), а в сечении *B* – на 0,09 (от 0,21 до 0,30). При этом в сечении *C* воздушные потоки в обеих частях отвода достаточно равномерные. Коэффициенты μ вариации скорости воздушного потока во внешней и внутренней частях отвода составляют 0,14 и 0,03 соответственно. Однако средняя скорость воздуха во внутренней части отвода ($V_B = 15,0$ м/с) практически в 2 раза превышает среднюю скорость воздуха в его внешней части ($V_B = 7,77$ м/с) и на 4,84 м/с выше, чем средняя скорость воздушного потока в сечении *A* ПСК ($V_B = 10,16$ м/с). Поскольку ПСК машины выполнен наклонным, то большая часть обрабатываемого зернового материала движется вблизи его внутренней стенки и, следовательно, попадает в зону действия высоких скоростей воздушного потока, то есть во внутреннюю часть отвода. Полноценные зёрна основной культуры, попавшие в эту зону, с большой вероятностью будут вынесены воздушным потоком в осадочную камеру, что приведет к увеличению потерь полноценного зерна в отходы. Для устранения данного явления средняя скорость воздушного потока во внутренней части отвода должна быть примерно равной средней скорости воздушного потока в ПСК.

При уменьшении глубины выходного сечения h_2 внутренней части отвода происходит постепенное снижение в ней средней скорости воздуха и выравнивание эпюры скоростей воздушного потока в верхней части ПСК. Так, при $h_2 = 0,064$ м (рис. 2*c*) коэффициенты μ вариации скорости воздуха в сечениях *A* и *B* составили 0,13 и 0,12 соответственно. Средняя скорость V_B воздуха во внутренней части отвода (сечение *C*) составила 11,19 м/с, что сопоставимо со средней скоростью в ПСК $V_B = 10,85$ м/с (сечение *A*). Коэффициент μ вариации скорости воздушного потока во внутренней части отвода составил 0,13.

Дальнейшее уменьшение глубины h_2 до 0,052 м (рис. 2*d*) приводит к увеличению неравномерности воздушного потока в ПСК (коэффициенты μ вариации скорости воздуха по глубине канала в сечениях *A* и *B* возросли до 0,16 и 0,15 соответственно). При этом средняя скорость V_B воздушного потока во внутренней части отвода при $\mu = 0,06$ (сечение *C*) составила 10,30 м/с, что на 1,12 м/с ниже средней скорости воздуха в ПСК $V_B = 11,42$ м/с (сечение *A*).

На третьем этапе проводилось исследование качества работы пневмосепарирующего канала с отводом без направляющей лопатки. Эффект *E* очистки зерновой смеси от лёгких примесей составил 61,2%.

Исследование качества работы ПСК с установленной в его отводе направляющей лопаткой проводили при изменении глубины h_2 выходного сечения внутренней части отвода от 0,052 до 0,100 м с интервалом 0,012 м и постоянной глубине её входного сечения $h_1 = 0,10$ м.

В результате исследования установлено, что наибольшие значения эффекта очистки от лёгких примесей $E = 65,2...67,8\%$ достигаются при глубинах выходного сечения внутренней части отвода ПСК $h_2 = 0,052...0,076$ м.

С целью более глубокого изучения влияния установленной в отводе ПСК направляющей лопатки на показатели качества работы ПСК был принят и реализован трёхуровневый план эксперимента 3^2 для двух факторов ¹⁰ [8, 9]. Выбор

такого плана обусловлен сложным взаимодействием факторов, а также нелинейным влиянием их на эффект E очистки от лёгких примесей. В качестве факторов включена глубина входного h_1 и выходного h_2 сечений внутренней части отвода ПСК. Факторы и уровни их варьирования выбраны с учетом результатов однофакторных экспериментов (табл.). В качестве критерия оптимизации принят эффект E очистки зерновой смеси от лёгких примесей.

После реализации плана и обработки результатов эксперимента получена адекватная, с 95%-ной вероятностью, математическая модель эффекта E очистки от лёгких примесей (%):

$$E = 67,80 + 1,57x_1 + 0,26x_2 - 3,35x_1^2 + 0,90x_1x_2 - 1,68x_2^2.$$

Таблица

Факторы, уровни и шаги их варьирования

Table

Factors, levels and steps of their variation

Кодированное обозначение факторов <i>Coded designation of factors</i>	Название факторов, их обозначение, ед. измерения <i>Types of the factors, their designation and units of measurement</i>	Уровни факторов <i>Levels of the factors</i>			Шаги варьирования <i>Variation steps</i>
		-1	0	+1	
x_1	Глубина входного сечения внутренней части отвода ПСК (h_1), м <i>Depth of the inlet section of the inner part of the channel knee (h_1), m</i>	0,080	0,100	0,120	0,020
x_2	Глубина выходного сечения внутренней части отвода ПСК (h_2), м <i>Depth of the outlet section of the inner part of the channel knee (h_2), m</i>	0,052	0,064	0,076	0,012

Анализ данной модели проводили с помощью графического изображения её на плоскости (рис. 3).

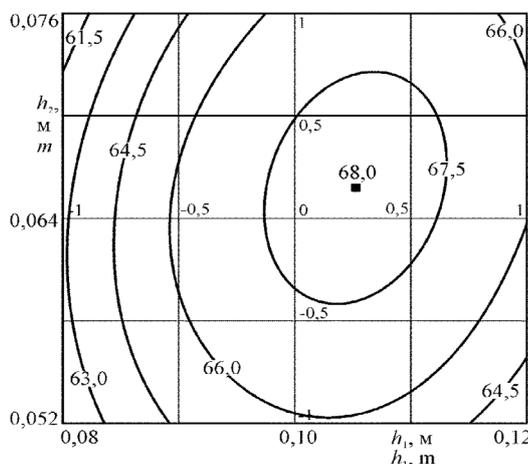


Рис. 3. Линии равных значений эффекта очистки зернового материала от лёгких примесей, %

Fig. 3. Lines of equal values describing the effect of cleaning grain material from light impurities, %

Максимальное значение эффекта очистки от лёгких примесей $E = 68,0\%$ достигается при $x_1 = 0,25$ ($h_1 = 0,105$ м) и $x_2 = 0,15$ ($h_2 = 0,066$ м).

Наибольшее влияние на E оказывает глубина h_1 входного сечения внутренней части отвода ПСК. Так, увеличение h_1 от 0,080 до 0,105 м (при $h_2 = 0,066$ м) приводит к повышению эффекта E очистки от лёгких примесей на 5,3% (от 62,7 до 68,0%). Дальнейшее увеличение глубины h_1 входного сечения внутренней части отвода ПСК до 0,120 м приводит к снижению E на 1,9% (от 68,0 до 66,1%).

Изменение глубины h_2 выходного сечения внутренней части отвода оказывает меньшее влияние на эффект E очистки от лёгких примесей. Увеличение h_2 от 0,052 до 0,066 м (при $h_1 = 0,105$ м) приводит к росту E на 2,2% (от 65,8 до 68,0%). Дальнейшее увеличение h_2 до 0,076 м приводит к снижению E на 1,2%.

С целью проверки достоверности результатов планирования был поставлен опыт при оптимальном сочетании изучаемых факторов ($h_1 = 0,105$ м и $h_2 = 0,066$ м). Эффект E очистки от лёгких примесей составил 67,8% против 68,0% по математической модели при вероятности 95%, что подтверждает их адекватность и достоверность результатов исследований.

Выводы

1. Установка в отводе пневмосепарирующего канала направляющей лопатки с оптимальными параметрами способствует выравниванию воздушного потока в верхней части канала и начале отвода, что положительно влияет на процесс пневмосепарации.

2. Направляющая лопатка радиусом $R_L = 0,20$ м, углом дуги $\beta_L = 80^\circ$, установленная в модели отвода пневмосепарирующего канала машины предварительной очистки зерна МПЗ-50 при глубинах входного и выходного сечений внутренней части отвода 0,105 м и 0,066 м, повышает эффект очистки зернового материала от лёгких примесей на 6,6% (от 61,2 до 67,8%).

¹⁰ Мельников С.В., Алёшкин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград: Колос, 1980. 168 с.

Библиографический список

1. Бурков А.И. Тенденции развития воздушно-решётных зерноочистительных машин на современном этапе // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 63. № 2. С. 4-15. <http://dx.doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.04-15>
2. Бурков А.И., Глушков А.Л., Булдаков Д.С. Обоснование конструктивных параметров пневмосепарирующих каналов машины предварительной очистки зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 9. С. 2-4. EDN: OJIBHP
3. Гехтман А.А., Антюхин В.В. Машина МПО-50 для предварительной очистки зерна // Тракторы и сельхозмашины. 1983. № 5. С. 24-25.
4. Govardhan M., Venkateswarlu G. Effect of impeller geometry and tongue shape on the flow field of cross flow fans). *Journal of Thermal Science*, 2003; 12: 118-125. <http://dx.doi.org/10.1007/s11630-003-0052-6>
5. Zhang W., Yuan J., Si Q., Fu Y. Investigating the in-flow characteristics of multi-operation conditions of cross-flow fan in air conditioning systems. *Processes*, 2019; 7 (12): 959. <http://dx.doi.org/10.3390/pr7120959>
6. Сычугов Н.П. Аэродинамические схемы, характеристики и применение диаметральных вентиляторов // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. С. 27-33. EDN: TPDJAX
7. Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А. Влияние зернового материала на поле скоростей и расчётные траектории частиц в вертикальном пневмосепарирующем канале // Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия и животноводства: Сборник трудов Международной научной конференции. Киров, 2018. С. 7-15. EDN: YTLGQP
8. Анисимов Н.П. Об использовании методики планирования эксперимента в соответствии с трёхуровневыми планами Бокса-Бенкена // Вестник магистратуры. 2017. № 2-2 (65). С. 29-31. EDN: ZBMSQR
9. Селезнева Е.В., Юрина Т.А. Система автоматизированного планирования эксперимента и получения уравнения регрессии // Вестник СибАДИ. 2014. № 3 (37). С. 84-87. EDN: SJKCTV

Критерии авторства

Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А., Мокиев В.Ю. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А., Мокиев В.Ю. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.03.2022

Одобрена после рецензирования 12.05.2022

Принята к публикации 24.05.2022

References

1. Burkov A.I. Tendentsii razvitiya vozdušno-reshetnykh zemoochistitel'nykh mashin na sovremenom etape [Trends in the development of air-and-screen grain cleaners at the present stage]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2018; 63(2): 4-15. <http://dx.doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.04-15> (In Rus.)
2. Burkov A.I., Glushkov A.L., Buldakov D.S. Obosnovanie konstruktivnykh parametrov pnevmosepariruyushchikh kanalov mashiny predvaritel'noy ochistki zerna [Determining the design parameters of pneumatic separating channels of the grain pre-cleaner]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2010; 9: 2-4. (In Rus.)
3. Gekhtman A.A., Antyukhin V.V. Mashina MPO-50 dlya predvaritel'noy ochistki zerna [Machine MPO-50 for grain pre-cleaning]. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 1983; 5: 24-25. (In Rus.)
4. Govardhan M., Venkateswarlu G. Effect of impeller geometry and tongue shape on the flow field of cross flow fans). *Journal of Thermal Science*, 2003; 12: 118-125. <http://dx.doi.org/10.1007/s11630-003-0052-6>
5. Zhang W., Yuan J., Si Q., Fu Y. Investigating the in-flow characteristics of multi-operation conditions of cross-flow fan in air conditioning systems. *Processes*, 2019; 7 (12): 959. <http://dx.doi.org/10.3390/pr7120959>
6. Syuchugov N.P. Aerodinamicheskie skhemy, kharakteristiki i primeneniye diametral'nykh ventilyatorov [Aerodynamic configurations, characteristics and application of diametrical fans]. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2015; 3: 27-33. (In Rus.)
7. Burkov A.I., Glushkov A.L., Lazykin V.A. Vliyaniye zernovogo materiala na pole skorostey i raschetnye trayektorii chastits v vertikal'nom pnevmosepariruyushchem kanale [Influence of grain material on the field of velocities and calculated trajectories of particles in a vertical aspirating channel]. *Energoberegayushchie agrotekhnologii i tekhnika dlya severnogo zemledeliya i zhivotnovodstva: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. Kirov, 2018: 7-15. (In Rus.)
8. Anisimov N.P. Ob ispol'zovanii metodiki planirovaniya eksperimenta v sootvetstvi s trekhurovnevnyimi planami Boksa-Benkena [On the use of the methodology for planning an experiment in accordance with the three-level plans of Box-Behnken]. *Vestnik magistratury*, 2017; 2-2 (65): 29-31. (In Rus.)
9. Selezneva E.V., Yurina T.A. Sistema avtomatizirovannogo planirovaniya eksperimenta i polucheniya uravneniya regressii [System for automated experiment planning and obtaining the regression equation]. *Vestnik SibADI*, 2014; 3 (37): 84-87. (In Rus.)

Contribution

A.I. Burkov, A.L. Glushkov, V.A. Lazykin, V.Yu. Mokiev performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. A.I. Burkov, A.L. Glushkov, V.A. Lazykin, V.Yu. Mokiev have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 10.03.2022

Approved after reviewing 12.05.2022

Accepted for publication 24.05.2022