

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.402-410>

УДК 631.362.36



Обоснование основных конструктивных параметров разделительной камеры пневмосепаратора с использованием различных методов расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале

© 2022. А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин , В. Ю. Мокиев
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье приведено исследование влияния методов расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале (ПСК) на конструктивные параметры разделительной камеры (длину и высоту выходного окна), выполненное в 2013-2021 гг. Построено поле скоростей воздушного потока в разделительной камере фракционного сепаратора семян, произведен расчет и построение траекторий компонентов семенного материала яровой пшеницы. Исходными данными для расчета являлись сведения, полученные ранее при расчете траекторий частиц в ПСК различными методами. Местоположение на выходе из канала, значение и направление векторов скоростей частиц определялись методом компьютерного моделирования с применением программного комплекса Solidworks Flow Simulation и двумя экспериментально-теоретическими методами. Последние основаны на учете реального поля скоростей воздушного потока в ПСК на режимах с зерновой нагрузкой и без нее. Выполнено сравнение расчетных значений конструктивных параметров с результатами экспериментальных исследований разделительной камеры. Установлено, что методы расчета траекторий частиц зерновых примесей оказывают значительное влияние на длину разделительной камеры и высоту выходного окна. Наибольшая длина разделительной камеры 0,75 м потребуется при компьютерном моделировании поля скоростей в ПСК. Гораздо меньшие значения (0,50 и 0,45 м) необходимы при расчете траекторий частиц в ПСК с использованием полей скоростей, полученных экспериментально-теоретическими методами. В процессе экспериментального исследования разделительной камеры при очистке семян пшеницы была определена оптимальная длина разделительной камеры, равная 0,55 м при высоте выходного окна 0,30 м. Таким образом, наиболее близкими к экспериментальным данным являются расчетные значения конструктивных параметров разделительной камеры, полученные экспериментально-теоретическими методами, что позволяет рекомендовать их к использованию на стадии проектирования пневмосепараторов.

Ключевые слова: семена, фракционирование, пневматический сепаратор, компьютерное моделирование, экспериментально-теоретические методы

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А., Мокиев В. Ю. Обоснование основных конструктивных параметров разделительной камеры пневмосепаратора с использованием различных методов расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):402-410.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.402-410>

Поступила: 25.03.2022

Принята к публикации: 23.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Substantiation of the main design parameters of the separation chamber of the pneumatic separator using various methods for calculating particle trajectories in the pneumoseparating channel

© 2022. Aleksander I. Burkov, Andrei L. Glushkov, Victor A. Lazykin ,
Valentin Yu. Mokiev

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov,
Russian Federation

The article presents a study of the influence of methods for calculating particle trajectories in the pneumatic separation channel (PSC) on the design parameters of the separation chamber (length and height of the exit window), completed in 2013-2021. The field of air flow velocities and trajectories of spring wheat seed material components in the separation

chamber of fractioning pneumatic seed separator was constructed. The initial data for the calculation were the information obtained earlier when calculating the trajectories of particles in the PSC by various methods. The location at the outlet of the channel, the value and direction of the particle velocity vectors were determined by computer modelling using the Solidworks Flow Simulation software package and two experimental and theoretical methods. They took into account the real velocity field of the air flow with and without grain load. The obtained values of the design parameters are compared with the results of experimental studies of the separation chamber. It should be noted that the methods of calculating the trajectories of grain impurity particles have a significant impact on the length of the separation chamber and the height of the exit window. The maximum length of the separation chamber of 0.75 m will be required for computer modelling of the velocity field in the PSC. Much smaller values of 0.50 m and 0.45 m will be required when calculating the trajectories of particles in the PSC using the velocity field obtained by experimental and theoretical methods. During the experimental study of the separation chamber during the cleaning of wheat seeds, the optimal length of the separation chamber was determined to be 0.55 m with an exit window height of 0.30 m. Thus, the values of the design parameters of the separation chamber obtained by experimental and theoretical methods are the closest to experimental data, which makes it possible to recommend them for use at the design stage of pneumatic separators.

Keywords: *seeds, fractionation, pneumatic separator, computer modelling, experimental and theoretical methods*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0002).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citation: Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazukin V. A., Mokiev V. Yu. Substantiation of the main design parameters of the separator chamber of the pneumatic separator using various methods for calculating particle trajectories in the pneumoseparating channel. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):402-410. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.402-410>

Received: 25.03.2022

Accepted for publication: 23.05.2022

Published online: 23.06.2022

Расчёт траектории частиц компонентов зернового материала в зоне сепарации используется научно-техническими работниками при обосновании конструктивных параметров рабочих органов пневмосистем – сепарирующих каналов, осадочных и разделительных камер, воздухоподводящих и отводящих каналов.

Для расчета траекторий частиц применяются различные методы, в основе которых лежит анализ поля векторов скоростей. Поле векторов скоростей описывается известными аналитическими зависимостями, численно моделируется с помощью пакетов прикладных программ [1, 2, 3, 4] или измеряется экспериментальным путем. В работе [5] для визуализации воздушного потока используются линии тока. Целью работы [6] явилось создание параметрической модели процесса разделения фрагментированных смесей, которую можно использовать для определения параметров перемещения компонентов смесей в воздушных каналах. В работе [7] для исследования воздушного потока была использована технология велосиметрии изображения частиц (PIV). Численно моделируется воздушный поток с помощью метода дискретных элементов в работе [8]. Математическое моделирование движения воздушного потока в пневмосистеме с использованием конечно-объемного метода решения уравнений гидродинамики на прямоугольной адаптивной сетке позволило обосновать размеры осадочных камер и снизить

гидравлическое сопротивление пневмосистемы зерноочистительной машины [9, 10]. В данной статье авторами изучается влияние методов расчета ПСК на конструктивные параметры разделительной камеры. При этом расчетные траектории частиц в канале и его отводе, получены при теоретическом описании поля скоростей методом компьютерного моделирования и экспериментально-теоретическими методами [11, 12], которые основаны на учете реального поля скоростей воздушного потока на режимах с зерновой нагрузкой и без нее.

Цель исследования – обосновать основные конструктивные параметры разделительной камеры пневмосепаратора с использованием теоретического и экспериментального поля скоростей в пневмосепарирующем канале при работе вхолостую и с зерновой нагрузкой и выявить наиболее точные методы расчета.

Научная новизна исследований заключается в выявлении методов расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале на стадии проектирования пневмосепаратора, наиболее совпадающих с экспериментальными данными.

Материал и методы. Исследование по определению основных конструктивных параметров разделительной камеры пневмосепаратора проводили в 2013-2021 гг. На первом этапе было построено поле скоростей воздушного потока в разделительной камере фракционного сепаратора семян СП-2Ф [13]. Далее произведен расчет и построение траекторий

компонентов семенного материала яровой пшеницы. Исходными данными для расчета (местоположение на выходе из ПСК, значение и направление вектора скорости частиц) являлись сведения, полученные ранее при расчете траекторий частиц в ПСК и его отводе различными методами. Затем было выполнено сравнение расчетных значений конструктивных параметров с результатами экспериментальных исследований разделительной камеры [14].

Для исследования была использована разделительная камера (рис. 1), имеющая следующие конструктивные параметры в продольно-вертикальной плоскости: длина разделительной камеры $2 L_{P.K.} = 0,75$ м, глубина отвода ПСК $h_{отв.} = 0,30$ м, глубина отвода первой части канала $h_{отв.1} = 0,18$ м, глубина

разделительной камеры $H_{P.K.} = 0,80$ м, глубина выходного окна разделительной камеры $h_{вых} = 0,30$ м (входная и выходная кромки передней и задней стенок разделительной камеры находятся на одном уровне), глубина входного окна патрубка жалюзийно-противоточного пылеуловителя $4 h_{вх} = 0,21$ м (определяется положением выходной кромки жалюзийной решетки 3). Начальный участок жалюзийной решетки 3 примыкает к верхней стенке камеры в месте соединения ее с наружной стенкой отвода ПСК 1. Разделительная камера снабжена перегородкой 5, на верхней кромке которой установлен поворотный клапан 6.

Средняя скорость воздушного потока в I части канала составляла 8,5 м/с, во II части канала – 12,0 м/с.

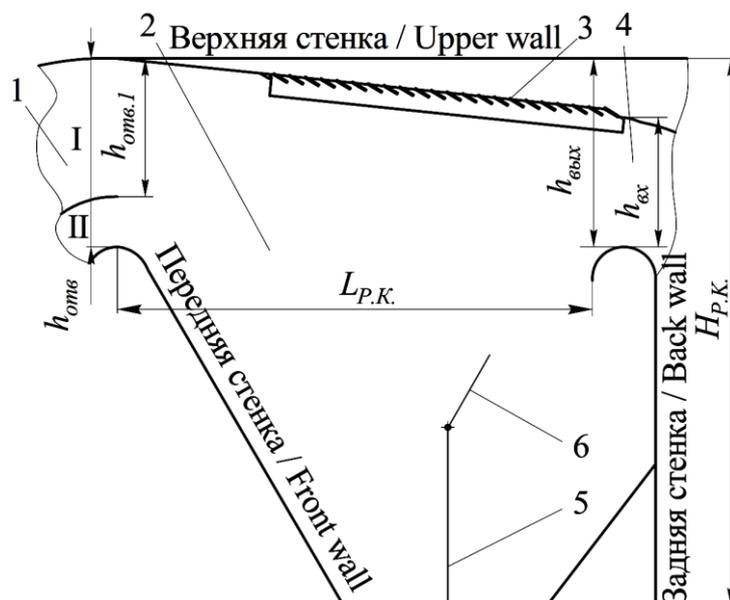


Рис. 1. Схема разделительной камеры фракционного сепаратора семян СП-2Ф: I и II – первая и вторая части ПСК; 1 – отвод ПСК; 2 – разделительная камера; 3 – жалюзийная решетка; 4 – входное окно патрубка жалюзийно-противоточного пылеуловителя; 5 – перегородка; 6 – поворотный клапан /

Fig. 1. Diagram of the separation chamber of the fractional seed separator SP-2F: I and II – the first and second parts of the PSC; 1 – PSC outlet; 2 – separation chamber; 3 – duster; 4 – duster inlet; 5 – separation chamber partition; 6 – rotary valve

Построение поля скоростей воздушного потока в разделительной камере выполнено с использованием метода конечных элементов для плоского потенциального течения потока. Далее методом математического моделирования был выполнен расчет и построены траектории частиц компонентов яровой пшеницы в разделительной камере.

С помощью полученных траекторий частиц можно определить, в первом приближении, основные параметры разделительной камеры: длину $L_{P.K.}$ и высоту $h_{вых}$ выходного окна (координаты выходной кромки задней

стенки). При этом необходимо учитывать следующие технологические и конструктивные требования:

1. Максимальное удаление частиц легких примесей (в рассматриваемом примере, имеющих скорость витания $V_{вит} = 1,0 \dots 5,0$ м/с) из разделительной камеры в пылеуловитель при минимальной длине $L_{P.K.}$ разделительной камеры и отсутствии потерь фуражного зерна в неиспользуемые отходы.

2. Разделение поступающего из ПСК материала на семенную и фуражную фракции.

Результаты и их обсуждение. По результатам расчета были получены значения вертикальной и горизонтальной составляющих

скорости воздушного потока в центрах конечных элементов и построено поле скоростей в разделительной камере (рис. 2).

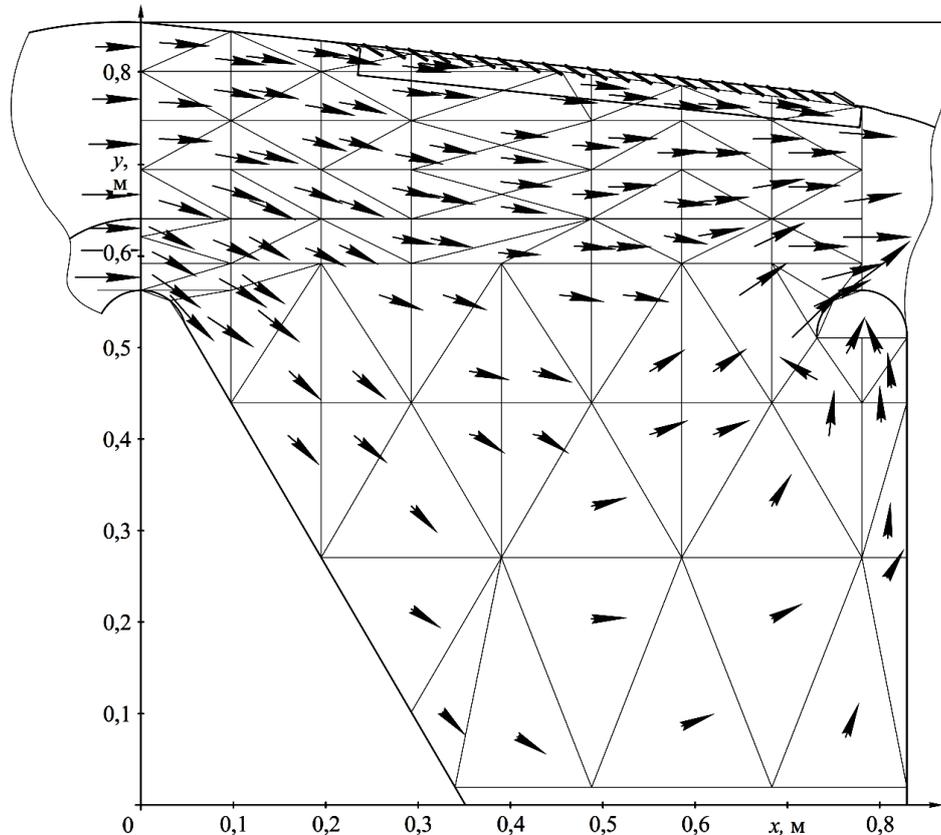


Рис. 2. Расчетное поле скоростей воздушного потока в разделительной камере при средней скорости воздуха на выходе из отвода ПСК: для I части канала – 8,5 м/с; для II части канала – 12,0 м/с /

Fig. 2. The calculated field of air flow velocities in the separation chamber at the average air velocity at the exit from the PSC outlet: for the first I part of the channel – 8.5 m/s; for the second II part of the channel – 12.0 m/s

Наибольшие скорости воздушного потока наблюдаются в верхней части разделительной камеры, при этом на выходе из нее скорости выше, чем на входе. Это происходит за счет сужения входного окна патрубка противоточного пылеуловителя $h_{вх}$ с 0,30 м до 0,21 м (переток некоторой части очищенного воздуха через жалюзийную решетку, минуя противоточный пылеуловитель, не учитывается). Векторы скорости воздушного потока на выходе из I части ПСК практически не изменяют своего направления и имеют положение, близкое к горизонтальному. Поэтому можно предположить, что легкие частицы со скоростями витания меньше скорости воздушного потока, поступающие в разделительную камеру из первой части ПСК, будут перемещаться к выходу без осаждения и поступать в жалюзийно-противоточный пылеуловитель.

Векторы скорости воздушного потока на выходе из II части ПСК имеют большую

направленность вниз по оси y . Поэтому воздушный поток направлен вниз разделительной камеры, где он совершает V-образное движение и выходит из нее в пылеуловитель. Такое течение воздушного потока будет способствовать интенсивному осаждению в разделительной камере наиболее тяжелых частиц компонентов зернового материала, поступающих из второй части ПСК.

На рисунке 3 изображены траектории частиц с исходными параметрами на выходе из отвода, полученными при использовании поля скоростей в ПСК, рассчитанного методом математического моделирования с применением программного комплекса Solidworks Flow Simulation [15, 16]. На рисунках 4 и 5 представлены траектории частиц с исходными параметрами на выходе из отвода, рассчитанные при использовании реального поля скоростей воздушного потока в ПСК на холостом режиме и при номинальной зерновой нагрузке.

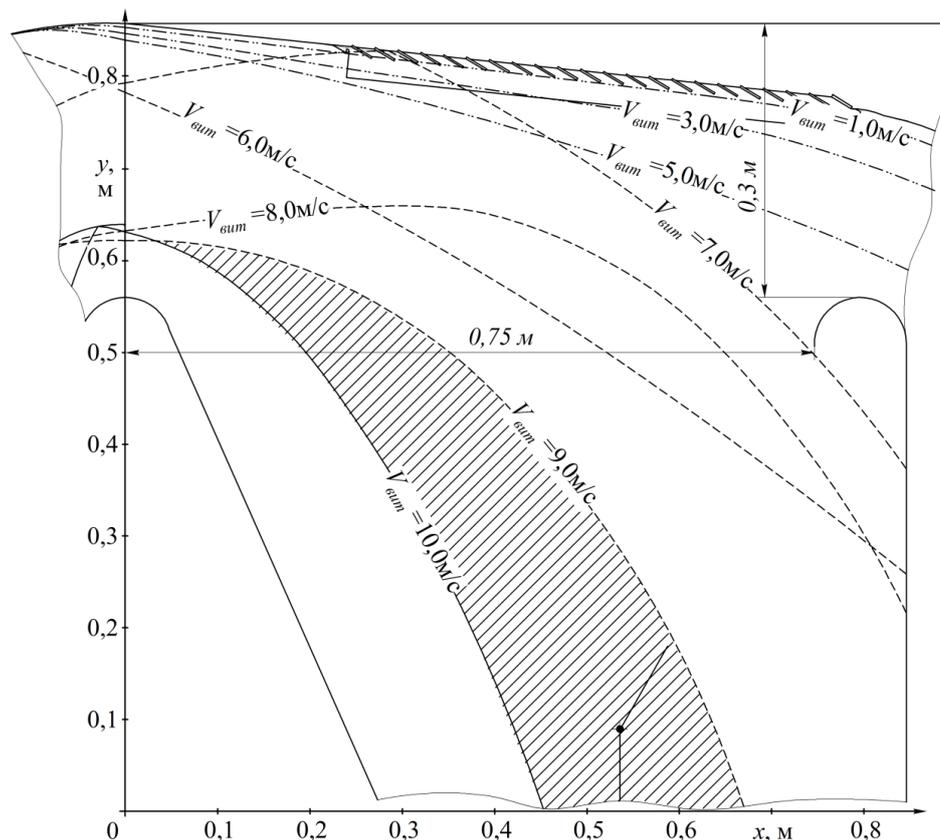


Рис. 3. Расчетные траектории частиц в разделительной камере, полученные при использовании для построения поля скоростей в ПСК методом математического моделирования, при средней скорости воздушного потока на выходе из отвода ПСК: в I части канала – 8,5 м/с, во II части канала – 12,0 м/с; — — — — — яровая пшеница; — — — — — зерновая примесь; — · — — — — легкие примеси /

Fig. 3. Calculated trajectories of particles in the separation chamber obtained when using mathematical modeling to construct the velocity field in the PSC, with an average air flow velocity at the exit from the PSC outlet: in the first I part of the channel – 8.5 m/s, in the second II part of the channel – 12.0 m/s; — — — — — spring wheat; — — — — — grain admixture; — · — — — — light impurities

Исходя из траекторий частиц яровой пшеницы и ее примесей, изображенных на рисунке 3, можно констатировать, что все легкие примеси ($V_{взм} = 1,0 \dots 5,0$ м/с) будут поступать в пылеуловитель, не осаждаясь в разделительной камере. Частицы зерновой примеси со скоростями витания 6,0...8,0 м/с, за счет высоких начальных скоростей, оседают во второй половине камеры, ближе к задней стенке. В связи с этим, длина $L_{Р.К.}$ камеры должна быть не менее 0,75 м, так как при горизонтальном перемещении задней стенки в сторону отвода ПСК зерновая примесь будет попадать в пылеулавливающее устройство. Размещение кромки поворотного клапана в заштрихованной зоне дает возможность разделить осаждаемый материал на две фракции. При этом одна фракция будет содержать преимущественно семена пшеницы, а вторая – зерновую примесь.

Траектории частиц яровой пшеницы, зерновых и легких примесей в разделительной камере, полученные при построении поля скоростей в ПСК экспериментальным путем без зерновой нагрузки (рис. 4), показывают следующее. При уменьшении длины разделительной камеры с 0,75 м до 0,50 м путем перемещения задней стенки, верхняя кромка которой расположена на расстоянии 0,3 м от верхней стенки камеры, все легкие примеси ($V_{взм} = 1,0 \dots 5,0$ м/с) будут поступать в пылеуловитель. Если кромку поворотного клапана разместить между траекториями частиц со скоростью витания 9,0 и 10,0 м/с, осаждаемый материал разделится на две фракции. При этом более тяжелая фракция, которая располагается ближе к передней стенке, будет содержать в основном семена пшеницы, а вторая фракция – зерновые примеси и небольшое количество семян пшеницы.

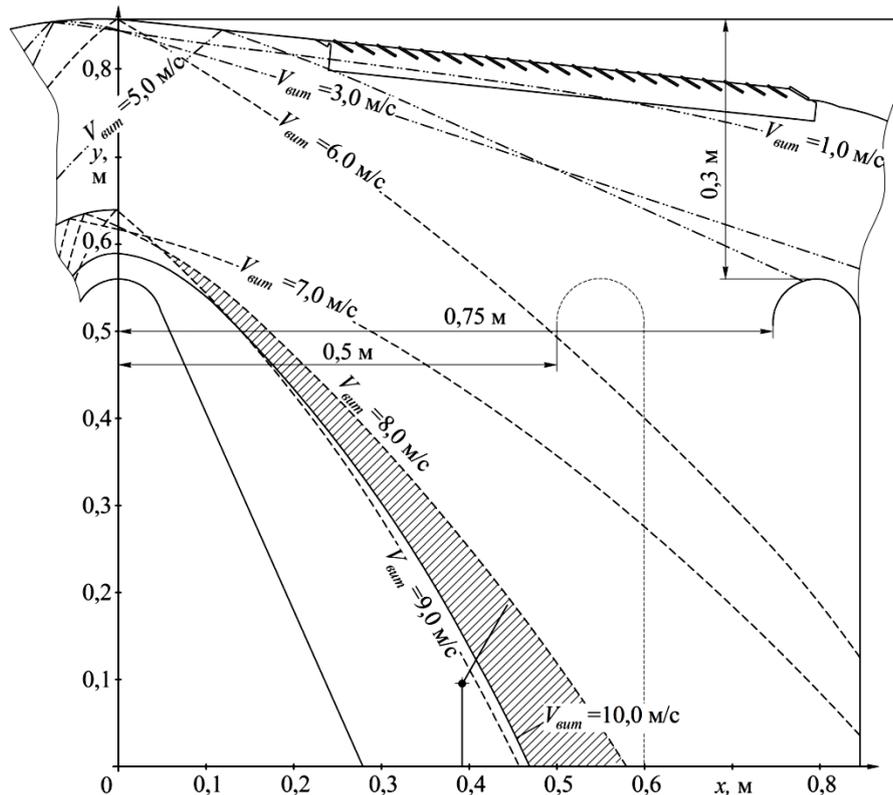


Рис. 4. Расчетные траектории частиц в разделительной камере, полученные при использовании для определения поля скоростей в ПСК экспериментального метода без зерновой нагрузки, при средней скорости воздушного потока на выходе из отвода ПСК: в I части канала – 8,5 м/с, во II части канала – 12,0 м/с; — — — — — яровая пшеница; - - - - - зерновая примесь; — · — — — — легкие примеси /

Fig. 4. Calculated trajectories of particles in the separation chamber obtained when using the experimental method without grain load for determining the velocity field in the PSC, with an average air flow velocity at the exit from the PSC outlet: in the first I part of the channel – 8.5 m/s, in the second II part of the channel – 12.0 m/s; — — — — — spring wheat; - - - - - grain admixture; — · — — — — light impurities

При построении поля скоростей в ПСК экспериментальным путем с зерновой нагрузкой траектории легких примесей в разделительной камере (рис. 5) располагаются компактно в ее верхней части, как и в двух предыдущих способах расчета, а траектории зерновых примесей находятся на большем удалении от задней стенки. Поэтому длину $L_{P.K.}$ разделительной камеры можно уменьшить до 0,45 м. Кроме того, при данном методе расчета в разделительную камеру не поступают частицы пшеницы со скоростью витания 10,0 м/с. В связи с этим выделить фракцию полноценных семян пшеницы в разделительной камере при данном скоростном режиме (12,0 м/с во II части ПСК) невозможно. Весь осаждаемый материал в разделительной камере представляет собой фуражную фракцию (зерновая примесь и легкие зерновки пшеницы).

Сравнивая траектории однотипных частиц, рассчитанные различными методами, следует отметить, что движение легких примесей со скоростями витания 1,0...5,0 м/с мало отли-

чается друг от друга и на координаты выходной кромки задней стенки разделительной камеры существенного влияния не оказывают. Значительное влияние на длину $L_{P.K.}$ разделительной камеры и высоту $h_{вых}$ выходного окна (координаты выходной кромки задней стенки) оказывают методы расчета траекторий частиц зерновых примесей в ПСК. Наибольшая длина разделительной камеры $L_{P.K.} = 0,75$ м потребуется при математическом моделировании поля скоростей в ПСК.

Гораздо меньшие значения $L_{P.K.}$ (0,50 и 0,45 м) необходимы при расчете траекторий частиц в ПСК с использованием поля скоростей, полученного экспериментальным путем соответственно без зерновой нагрузки и при подаче зерна. Разделение на семенную и фуражную фракции поступающего из ПСК материала при всех методах расчета траекторий не зависит от длины камеры, а достигается установкой поворотного клапана в соответствующее положение.

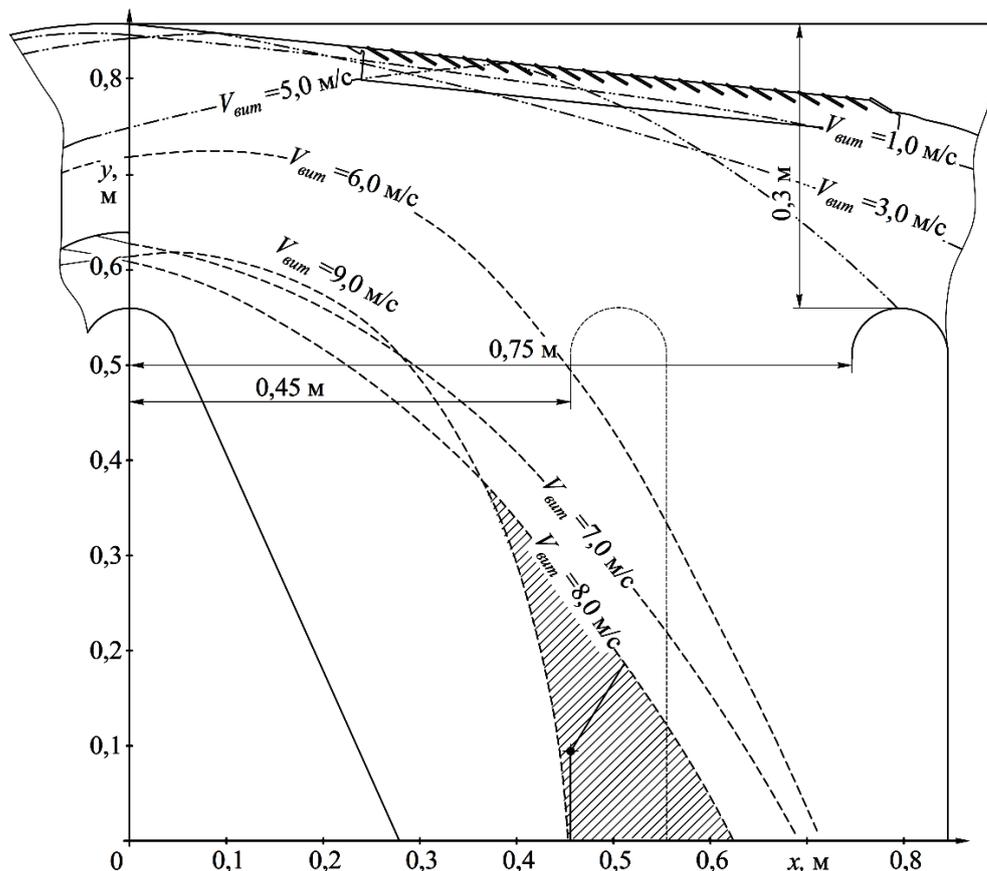


Рис. 5. Расчетные траектории частиц в разделительной камере, полученные при использовании для определения поля скоростей в ПСК экспериментального метода с зерновой нагрузкой, при средней скорости воздушного потока на выходе из отвода ПСК: в I части канала – 8,5 м/с; во II части канала – 12,0 м/с; — — — — — яровая пшеница; — — — — — зерновая примесь; — · — — — — легкие примеси /

Fig. 5. Calculated trajectories of particles in the separation chamber obtained by using the experimental grain-loaded method to determine the velocity field in the PSC, with an average air flow velocity at the exit from the PSC outlet: in the first I part of the channel – 8.5 m/s; in the second II part of the channel – 12.0 m/s; — — — — — spring wheat; — — — — — grain admixture; — · — — — — light impurities

В процессе экспериментального исследования разделительной камеры при очистке семян пшеницы была выявлена возможность уменьшения длины $L_{P.K.}$ разделительной камеры от 0,75 м до 0,55 м при высоте выходного окна $h_{вых} = 0,30$ м. При данных параметрах камеры обеспечивается удаление всех легких примесей в пылеуловитель и разделение поступающего в камеру материала на семенную и фуражную фракции. При этом тяжелая фракция, осаждаемая в первой части разделительной камеры, соответствует по чистоте категории РС и РС_T репродукционных семян товарного назначения.

Выводы. Методы расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале оказывают существенное влияние на их траектории в разделительной камере и, как следствие, на ее длину $L_{P.K.}$ и высоту $h_{вых}$ выходного окна. Наиболее близкими к экспериментальным

данным являются расчетные значения конструктивных параметров разделительной камеры, полученные при расчете траекторий частиц в пневмосепарирующем канале экспериментально-теоретическими методами, основанные на реальном поле скоростей воздушного потока на режимах с зерновой нагрузкой и без нее. При высоте выходного окна $h_{вых} = 0,30$ м оптимальная длина $L_{P.K.}$ разделительной камеры, установленная экспериментально, составляет 0,55 м, математическом моделировании поля скоростей в пневмосепарирующем канале – 0,75 м, при использовании поля скоростей, полученного экспериментальным путем – 0,50 и 0,45 м соответственно без зерновой нагрузки и при подаче зерна. Рекомендуются к использованию на стадии проектирования пневмосепараторов оба экспериментально-теоретических метода.

Список литературы

1. Piven V. V. Determination of the Extent of Fraction in Air Separation of Grain Material. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2018;1059:012001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1059/1/012001>
2. Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktarov M., Dick E., Arslanbekova S. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine. Journal of Applied Engineering Science. 2019;17(4):529-534. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes17-22640>
3. Бутовченко А. В., Дорошенко А. А., Савченко А. А., Шубин А. И. Использование программного комплекса "FLOWVISION" для определения характеристик воздушного потока в пневмоканале. Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы 7-ой Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 17-ой Междунар. агропромышленной выставки «Интерагромаш-2014». Ростов н/Д: Донской ГТУ, 2014. С. 52-54.
4. Mudarisov S. G., Badretdinov I. D. Оптимизация параметров пневматической системы зерноочистительной машины. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011;(1):6-7.
5. Sane S., Bujack R., Garth C., Childs H. A survey of seed placement and streamline selection techniques. Computer Graphics Forum. 2020;39(3):785-809. DOI: <https://doi.org/10.1111/cgf.14036>
6. Panasiewicz M., Mazur J., Zawislak K., Kulig R., Łysiak G. The Process of Separation of Husked Soybean in Oblique Airflow. Department of Food Engineering and Machines, University of Life Sciences in Lublin. 2020;12(18):7566. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187566>
7. Xinpeng L., Jialiang Z., Jiangtao J. Analysis of Airflow Velocity Field Characteristics of an Oat Cleaner Based on Particle Image Velocimetry Technology Applied Engineering in Agriculture. 2019;35(2):193-201. DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.12999>
8. Lizhang X., Yang L., Xiaoyu C., Guimin W. Numerical simulation of gas–solid two-phase flow to predict the cleaning performance of rice combine harvesters. Biosystems Engineering. 2020;190(4):11-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.014>
9. Гиевский А. М. Снижение энергозатрат на работу двух аспирационной пневмосистемы. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2016;(1):2-4.
10. Giyevskiy A. M., Orobinsky V. I., Tarasenko A. P., Chernyshov A. V., Kurilov D. O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018;327:042035. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042035>
11. Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А. Усовершенствованный экспериментально-теоретический метод расчёта траектории частиц в пневмосепарирующем канале. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(3(64)):87-92. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.87-92>
12. Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А. Расчет траекторий частиц в пневмосепарирующем канале различными методами. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):62-70. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.62-70>
13. Бурков А.И., Баталова Г.А., Глушков А.Л., Лазыкин В.А. Подготовка высококачественных семян с использованием пневмосепараторов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(2(57)):72-76. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.57.2.72-76>
14. Lazykin V., Burkov A., Glushkov A., Mokiyeu V. Defining key design parameters for separation chamber of fractioning pneumatic seed separator. Engineering for Rural Development. 2021;20:181-186. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF037>
15. Zhukovetskaya S. Air flowing spatial modeling and simulation with Solidworks CAD. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki. 2018;13:79-87. URL: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-0e92a018-6f21-48cf-ae47-cf138a92f844>
16. Jiang H., Lu L., Sun K. Computational fluid dynamics (CFD) modeling of particle deposition in a two-dimensional turbulent channel air flow: study of influence factors: Indoor Built Environ 2012;21(2):264-272. DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X11414939>

References

1. Piven V. V. Determination of the Extent of Fraction in Air Separation of Grain Material. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2018;1059:012001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1059/1/012001>
2. Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktarov M., Dick E., Arslanbekova S. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine. Journal of Applied Engineering Science. 2019;17(4):529-534. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes17-22640>
3. Butovchenko A. V., Doroshenko A. A., Savchenko A. A., Shubin A. I. Using the "FLOWVISION" software package to determine the characteristics of the air flow in the pneumatic channel. The state and prospects for the development of agricultural engineering: Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference within the framework of the 17th International Scientific and Practical Conference. agro-industrial exhibition "Interaгромаш-2014". Rostov n/D: *Donskoy GTU*, 2014. pp. 52-54.
4. Mudarisov S. G., Badretdinov I. D. Optimization of the parameters of the pneumatic system of the grain cleaning machine. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2011;(1):6-7. (In Russ.).
5. Sane S., Bujack R., Garth C., Childs H. A survey of seed placement and streamline selection techniques. Computer Graphics Forum. 2020;39(3):785-809. DOI: <https://doi.org/10.1111/cgf.14036>
6. Panasiewicz M., Mazur J., Zawislak K., Kulig R., Łysiak G. The Process of Separation of Husked Soybean in Oblique Airflow. Department of Food Engineering and Machines, University of Life Sciences in Lublin. 2020;12(18):7566. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187566>

7. Xinping L., Jialiang Z., Jiangtao J. Analysis of Airflow Velocity Field Characteristics of an Oat Cleaner Based on Particle Image Velocimetry Technology Applied Engineering in Agriculture. 2019;35(2):193-201. DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.12999>
8. Lizhang X., Yang L., Xiaoyu C., Guimin W. Numerical simulation of gas-solid two-phase flow to predict the cleaning performance of rice combine harvesters. Biosystems Engineering. 2020;190(4):11-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.014>
9. Gieyvskiy A. M. Reduction of energy consumption for the operation of a two-air pneumatic system. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2016;(1):2-4. (In Russ.).
10. Gieyvskiy A. M., Orobinsky V. I., Tarasenko A. P., Chernyshov A. V., Kurilov D. O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018;327:042035. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042035>
11. Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazykin V. A. An improved experimental-theoretical method for calculating the particle trajectory in a pneumatic separating channel. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;(3(64)):87-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.87-92>
12. Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazykin V. A. Calculation of particle trajectories in the pneumatic separation channel using various methods. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(1):62-70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.62-70>
13. Burkov A. I., Batalova G. A., Glushkov A. L., Lazykin V. A. Preparation of high quality seeds using a pneumatic separator. *Agrarnayanauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(2(57)):72-76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.57.2.72-76>
14. Lazykin V., Burkov A., Glushkov A., Mokiev V. Defining key design parameters for separation chamber of fractioning pneumatic seed separator. *Engineering for Rural Development*. 2021;20:181-186. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF037>
15. Zhukovetskaya S. Air flowing spatial modeling and simulation with Solidworks CAD. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektryki i Informatyki*. 2018;13:79-87. URL: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-0e92a018-6f21-48cf-ae47-cf138a92f844>
16. Jiang H., Lu L., Sun K. Computational fluid dynamics (CFD) modeling of particle deposition in a two-dimensional turbulent channel air flow: study of influence factors: *Indoor Built Environ* 2012;21(2):264-272. DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X11414939>

Сведения об авторах

Бурков Александр Иванович, доктор техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д.166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>

Глушков Андрей Леонидович, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>

✉ **Лазыкин Виктор Алексеевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3910-8620>, e-mail: ellestar@bk.ru

Мокиев Валентин Юрьевич, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д.166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>

Information about the authors

Alexander I. Burkov, DSc in Engineering, professor, leading researcher, Head of the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>

Andrei L. Glushkov, PhD in Engineering, senior researcher, the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>

✉ **Victor A. Lazykin**, PhD in Engineering, researcher, the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3910-8620>, e-mail: ellestar@bk.ru

Valentin Yu. Mokiev, PhD in Engineering, researcher, the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>

✉ – Для контактов / Corresponding author