УДК 631.331

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-49-1-133-140

С.Г. Мударисов, А.В. Шарафутдинов

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СЕЯЛКИ

Ключевые слова: *горизонтальный распределитель семян; пневматическая зерновая сеялка; воздушно-зерновая смесь; неравномерность распределения семян.*

Введение. Современные комбинированные, широкозахватные посевные агрегаты при работе на больших скоростях для высокой производительности требуют более точного и равномерного распределения семян по всей ширине захвата. Функцию равномерного распределения семян выполняет пневматическое распределительное устройство зерновых сеялок. Однако недостатком таких устройств является неравномерное распределение из-за несовершенства конструктивных параметров распределительных устройств.

Процесс распределения зернового материала по патрубкам достаточно сложен, с чем и связано малое количество теоретических исследований закономерности распределения частиц по отводящим патрубкам. В основном все исследования распределителей сводятся к определению неравномерности распределения зернового материала как основного показателя работы или к совершенствованию параметров работы распределительных систем, а также отдельных конструктивных элементов.

В.С. Астахов в своих исследованиях обосновал возможность равномерного распределения в горизонтальных распределительных устройствах. Его работа была посвящена изучению влияния на процесс высева зернового материала конструктивных параметров распределения [1, 2].

Ю.Г. Вожи установил влияние формы выпускного патрубка пневматического аппарата на качество рассева сыпучих минеральных удобрений, а также изменчивости траекторий движения [3].

В работах Н.Т. Хлызова [10] для расчета давления и скорости воздуха в трубопроводах и скорости воздушного потока в распределительной системе сеялки использованы уравнения Навье – Стокса, описывающие динамику воздушного потока без учета наличия семян. Численная реализация модели проведена с помощью программного пакета ANSYS модуля Fluent Flow.

С.Г. Мударисов, И.Д. Бадретдинов и А.В. Шарафутдинов [5] провели численную реализацию

модели движения воздушного потока в распределительной системе зерновой пневматической сеялки. Для описания движения воздушного потока использованы уравнения Навье – Стокса для несжимаемой среды и k-ε-модель турбулентности. Реализация модели произведена в программе FlowVision.

В последующем С.Г. Мударисовым и З.С. Рахимовым [6, 13] обоснованы условия применения математических моделей газовой динамики двухфазных течений для описания работы пневматической распределительной системы зерновой сеялки.

Yatskul & Lemiere [14–18] провели экспериментальное теоретическое исследование пневматической транспортирующей системы зерновой сеялки. В работе предлагается метод измерения концентрации потока и скорости воздуха, позволяющий оптимизировать существующие сеялки или обосновать параметры новой.

В работах М.В. Пятаева [7] рассмотрены вопросы повышения равномерности распределения семян по семяпроводам пневматических зерновых сеялок на основе совершенствования режима работы и конструктивных параметров распределителей вертикального типа.

Проанализировав результаты исследований вышеуказанных авторов, можно сделать вывод, что в данный момент отсутствуют единые рекомендации по конструктивно-технологической реализации распределителей горизонтального типа. Это подчеркивает теоретическую и практическую актуальность темы.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что для обеспечения равномерности распределения по отводящим патрубкам оптимальным является горизонтальный распределитель, имеющий отклонения боковых стенок на некоторый угол и с формой верхней стенки в виде параболической кривой. Согласно результатам исследования А.С. Сентюрова [1] и проведенного анализа, предполагается, что распределительное устройство в подобной конфигурации менее энергоемко, проще по конструкции и позволяет установить отводящие патрубки в ряд, благодаря чему будет иметь относительно малое аэро-

динамическое сопротивление и минимально травмировать семенной материал при распределении по патрубкам.

Цель исследования – повышение качества распределения семян путем совершенствования горизонтального распределителя зерновой пневматической сеялки.

Условия, материалы и методы. В ходе исследования были использованы классические методы теоретической механики, а также компьютерное моделирование газодинамических процессов в программном комплексе FlowVision, где осуществляются поверочные расчеты на основе полных нелинейных уравнений Навье – Стокса с учетом эффектов турбулентности. Экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях выполнены с использованием стандартных и частных методик с применением методов планирования эксперимента.

Результаты и обсуждение. Предложено новое горизонтальное распределительное устройство для пневматической зерновой смеси, содержащее подводящий трубопровод,

расширяющийся раструб, состоящий из верхней и нижней стенок, боковых стенок, установленных в виде расширяющегося раструба от входа к выходам под соответствующим углом, и отводящих патрубков. Распределитель работает следующим образом: в процессе работы воздушно-зерновая смесь попадает по подводящему трубопроводу в распределительное устройство и равномерно распределяется по всему объему, далее по отводящим патрубкам попадает в семяпроводы.

Для обоснования конструктивно-технологических параметров предложенного горизонтального распределительного устройства сеялки необходимо смоделировать движение воздушно-зерновой смеси.

При моделировании было установлено, что воздушно-зерновая смесь при выходе из патрубка в резко расширяющийся канал отклоняется на некоторый угол в зависимости от скорости движения воздуха (рисунок 1). В результате были определены углы отклонения векторов скорости движения воздушно-зерновой смеси от первоначального направления движения [11].

Рисунок 1
Движение воздушно-зерновой смеси при выходе из трубопровода

Воздушно-зерновая смесь при выходе из пневмопровода в зависимости от скорости потока v_g отклоняется на угол в пределах $33...36^\circ$. Зависимости угла движения воздушно-зерновой смеси от скорости воздушного потока приведены на рисунке 2.

Скорость воздушного потока v_g , создаваемого вентилятором зерновой сеялки, должна изменяться в пределах $12...15$ м/с. Для данного

диапазона согласно графику (рисунок 2) среднее значение угла отклонения γ векторов скоростей составляет 34° . В связи с этим для уменьшения сопротивления воздушно-зерновой смеси боковых стенок распределителя необходимо устанавливать их в виде расширяющегося раструба от входа к выходам под углом 34° .

Следующим этапом было моделирование процесса движения воздушно-зерновой смеси в

вертикальной плоскости с заданием различных значений скорости воздушного потока v_g .

Для уменьшения сопротивления верхней стенки распределителя воздушному потоку и соударений семян форма ее поверхности должна описывать верхнюю траекторию движения. На рисунке 3 представлен график, построенный по координатам крайней верхней траектории воздушно-зерновой смеси для скорости воздуха на входе в пневмопровод $v_g = 15$ м/с. Данная ско-

рость является оптимальной для пневматических систем зерновых сеялок и рекомендована в своих работах А.П. Шевченко [12]. Полученный график с наименьшей погрешностью аппроксимируется уравнением параболического вида третьей степени:

$$h = a \cdot L^3 - b \cdot L^2 + cL + d, \quad (1)$$

где a, b, c, d – эмпирические коэффициенты; h, L – координаты верхней стенки распределителя по высоте и длине.

Рисунок 2

Зависимость угла движения воздушно-зерновой смеси от скорости воздушного потока

Рисунок 3

График кривизны траектории верхней поверхности

Рисунок 4

Траектория движения воздушно-зерновой смеси при скорости 15 м/с

Визуализация движения воздушно-зерновой смеси в смоделированном распределительном устройстве с формой верхней стенки в виде параболической кривой показала, что при повышении скорости воздушного потока v_g внутри распределителя наблюдается возникновение турбулентности потока. А на рабочих скоростях до 15 м/с воздушно-зерновая смесь движется без завихрений, причем верхние слои описывают форму стенки (рисунок 4). Данное обстоятельство доказывает правильность перехода при выборе формы верхней стенки распределителя. Полученные результаты схожи с работой Н.П. Крючина [4] и других авторов, которые установили зависимость изменения равномерности воздушно-зерновой смеси из-за различия семян по физико-механическим свойствам, взаимодействия семян со стенками, разного времени движения зернового материала до почвы, а также изменчивости траекторий движения семян.

На рисунке 3 приведена зависимость дальности полета семян L_c от рабочей скорости воздушного потока v_g . С увеличением скорости воздушного потока дальность полета семян растет по параболической зависимости, что свидетельствует о росте динамической составляющей их сопротивления, зависящей от квадрата скорости.

В процессе работы распределителя его длина должна быть такой, чтобы семена в процессе движения попадали без удара о верхнюю стенку и дно в выходные семяпроводы. Если длина распределителя будет чрезмерно большой, то семена будут падать на дно, что может привести, во-первых, к их травмированию;

во-вторых, после соударения нарушится их распределение. В коротком распределителе, наоборот, семена будут ударяться о верхнюю стенку. Аналогичные исследования влияния скорости и соударений с поверхностями в вертикальном распределителе представлены в работе М.В. Пятаева [8].

Для обоснования формы выходной части распределителя с учетом установленных его форм боковых и верхних стенок, а также длины созданы модели с различными геометрическими формами стенок выходных патрубков. В качестве крайних геометрических форм для оценки равномерности распределения приняты наиболее простые фигуры в виде плоскости и поверхности второго порядка, описанной по дуге окружности.

При визуализации расчетов рассматриваемых моделей (рисунок 5) видно, что давление воздушного потока внутри распределяется неравномерно, что, в свою очередь, приводит к неравномерности давления по его выходам.

Использование полукруглой выходной стенки (рисунок 6) несколько улучшает картину распределения давлений, однако все равно не обеспечивает должную равномерность. Коэффициент вариации давления по выходным семяпроводам, согласно расчетам, для распределителя с плоской формой выходных стенок доходит до 0,25, а с полукруглой формой составляет 0,20. При такой неравномерности давления воздушного потока по семяпроводам распределитель не сможет обеспечить требуемое качество распределения семян по рядкам, которое, по агротребованиям, не должно превышать 5 %.

Рисунок 5
Распределитель с плоской формой стенки –
заливка из давления

Рисунок 6
Распределитель с полукруглой формой стенки –
заливка из давления

В качестве критериев оценки качества распределения семян в разработанной модели нами были выбраны среднеквадратическое отклонение давления P_{cp} по выходам и коэффициент его вариации v_p . Чем равномернее будет давление на выходах распределителя, тем равномернее семена будут распределяться по рядкам.

При конструировании криволинейных поверхностей для обеспечения равномерности их нагружения используются различные геометрические формы.

Для плоских криволинейных фигур наиболее предпочтительной является «цепная линия», т. к. она изгибается лишь в одной плоскости.

Уравнение цепной линии в прямоугольных декартовых координатах имеет вид:

$$y = \frac{p}{2} \left(e^{x/p} + e^{-x/p} \right) = p \cdot ch \frac{x}{p}, \quad (2)$$

где $ch \frac{x}{p}$ – гиперболический косинус своего аргумента; p – значение ординаты вершины цепной линии.

По уравнению цепной линии (2) получена криволинейная стенка уточненной модели распределительного устройства.

По результатам расчета (рисунок 7) видно, что уточненная модель имеет более равномерное распределение давления по выходам.

Рисунок 7

Уточненная модель распределительного устройства – заливка из давления

Полученные конструктивно-технологические параметры горизонтального распределителя семян позволят вести дальнейшую работу по совершенствованию технологического процесса высева семян и повысить равномерность распределения семенного материала по рабочим органам. Данные результаты положительно скажутся на урожайности зерновых и снижении затрат на производство сельскохозяйственной продукции.

Выводы. На основе реализованной в программном комплексе FlowVision математической модели горизонтального пневматического распределителя установлено, что качеству распределения семян наиболее полно отвечает распределительное устройство в виде расширяю-

щегося раструба от входа к выходам под углом 34° с криволинейной формой выходной части в виде плоской трансцендентной кривой.

Однако в процессе моделирования работы распределителя было установлено, что зерновая смесь оказывает обратное влияние на воздушный поток. Вследствие этого возникает турбулентность потока, приводящая к нарушению технологического процесса и неравномерности распределения семенного материала по семяпроводам. Для решения данной задачи необходимо в последующем предусмотреть установку дополнительных вставок или рассекателей для устранения турбулентности потока и выравнивания давления и скорости движения воздушно-зерновой смеси.

Библиографический список

1. Астахов, В.С. Принципиально новые распределители семян [Текст] / В.С. Астахов,

А.С. Сентюров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1994. № 10.

2. Астахов, В.С. Анализ пневматических централизованных высевальных систем [Текст] / В.С. Астахов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1997. № 10.
3. Вожик, Ю.Г. Влияние формы выпускного патрубка пневматического аппарата на качество рассева сыпучих минеральных удобрений [Текст] / Ю.Г. Вожик // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Киев: Урожай, 1970. Вып. 4.
4. Крючин, Н.П. Разработка и обоснование параметров горизонтального распределителя семян для пневматического высева [Текст] / Н.П. Крючин, А.Н. Андреев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 3. С. 3–8.
5. Мударисов, С.Г. Моделирование распределителя семян пневматической сеялки [Текст] / С.Г. Мударисов, И.Д. Бадретдинов, А.В. Шарафутдинов // Механизация сельского хозяйства. 2010. № 3. С. 8–9.
6. Мударисов, С.Г. Обоснование параметров двухфазного течения «воздух – семена» при математическом описании работы пневматической системы зерновой сеялки [Текст] / С.Г. Мударисов, З.С. Рахимов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2014. № 4 (32). С. 85–91.
7. Пятаев, М.В. Результаты теоретического исследования процесса распределения посевного материала вертикальным распределителем при работе агрегата на склонах [Текст] / М.В. Пятаев // АПК России. 2017. Т. 24. № 2. С. 431–436.
8. Пятаев, М.В. Изучение процесса движения частиц посевного материала по направлению в распределителе пневматической зерновой сеялки [Текст] / М.В. Пятаев // Вестник КрасГАУ. 2011. № 1. С. 152–157.
9. Рахимов, З.С. Обоснование параметров пневматической системы транспортирования семян и удобрений почвообрабатывающего посевного агрегата [Текст] / З.С. Рахимов, Н.Т. Хлызов, И.Р. Рахимов и др. // АПК России. 2017. Т. 24. № 1. С. 91–104.
10. Хлызов, Н.Т. Анализ технологического процесса пневматической высевальной системы зерновой сеялки [Текст] / Н.Т. Хлызов, М.В. Фомина, Е.А. Джапаров // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. № 17. С. 131–134.
11. Шарафутдинов, А.В. Обоснование конструктивно-технологических параметров распределительного устройства пневматической системы сеялки [Текст] / А.В. Шарафутдинов // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. № 17. С. 140–145.
12. Шевченко, А.П. Обоснование пневматического высевального аппарата с горизонтальным распределением движения семян [Текст] / А.П. Шевченко, И.О. Коробкин // Актуальные вопросы научного обеспечения АПК в работах молодых ученых: материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных Россельхозакадемии (г. Омск, 7–8 июля 2010 г.) / Рос. акад. с.-х. наук, Сиб. науч.-исслед. ин-т с.-х. Омск, 2010. С. 102–105.
13. Mudarisov S., Khasanov E., Rakhimov Z., Gabitov I., Badretdinov I., Farchutdinov I., Gallyamov F., (...), Jarullin R. Specifying two-phase flow in modeling pneumatic systems performance of farm machines (2017). Journal of Mechanical Engineering Research and Developments, 40 (4), pp. 706–715.
14. Yatskul A., Lemièrre J.P., Cointault F. Influence of the divider head functioning conditions and geometry on the seed's distribution and accuracy of the air-seeder. J. Biosystems Engineering. 2017. № 161. P. 120–134.
15. Yatskul A.I., Lemièrre J.P. Experimental determination of flow concentration for pneumatic conveying systems of air-seeders. INMATEH-Agricultural Engineering. 2014. № 44 (3). P. 17–24.
16. Martynov, V. Reasoning Barley Grain Drying Modes for Vacuum-Infrared Drying Machines / V. Martynov, I. Gabitov, Kh. Karimov, I. Masalimov, V. Permyakov, I. Ganeev, I. Saitov and B. Saitov // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. V. 13. P. 8803–8811.
17. Mudarisov, S. Specifying Two-Phase Flow in Modeling Pneumatic Systems Performance of Farm Machines / S. Mudarisov, E. Khasanov, Z. Rakhimov, I. Gabitov, I. Badretdinov, I. Farchutdinov, F. Gallyamov, M. Davletshin, R. Aipov, R. Jarullin // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. 2017. V. 40. № 4. P. 706–715.
18. Rakhimov, Z. Reasoning a Construction Diagram and Parameters of Tillers for Primary Cultivation / Z. Rakhimov, S. Mudarisov, I. Gabitov, R. Rakhimov, I. Rakhimov, V. Alyabiev, L. Tarkhova, I. Farkhutdinov, A. Mukhametdinov and R. Gareev // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. V. 13. P. 8812–8818.

Сведения об авторах

1. **Мударисов Салават Гумерович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительно-дорожных, коммунальных и сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, к. 206/1, тел.: (347) 228-91-66, e-mail: salavam@gmail.com.

2. **Шарафутдинов Азат Вилевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительно-дорожных, коммунальных и сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, к. 155/1, тел.: (347) 228-06-17, e-mail: meh-fak@yandex.ru.

Целью исследования является обоснование конструктивно-технологических параметров горизонтального распределителя пневматической сеялки. В исследовании выполнен анализ результатов лабораторных и полевых экспериментов. Приведены основные экспериментальные зависимости и установленные рациональные параметры горизонтального распределительного устройства. Моделирование работы горизонтального распределительного устройства позволило установить, что воздушно-зерновая смесь при выходе из патрубка в зависимости от скорости на входе отклоняется на некоторый угол γ в пределах $33...36^\circ$. Обоснование длины распределителя и формы его поверхностей производи-

лось из условия снижения сопротивления внутренних стенок воздушному потоку и соударения об них семян. Обоснование формы выходной части распределителя производилось по критерию равномерности распределения давлений по семяпроводам. Наиболее предпочтительным по равномерности распределения является криволинейная форма в виде плоской трансцендентной кривой, т. к. коэффициент вариации давления в этом случае ниже по сравнению с другими формами. Полученные результаты позволили определить оптимальные конструктивные параметры горизонтального распределителя пневматической сеялки с целью повышения качества распределения семян.

S. Mudarisov, A. Sharafutdinov

JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE HORIZONTAL DISTRIBUTOR OF THE PNEUMATIC SEEDER

Keywords: *horizontal seed distributor; pneumatic grain seeder; air-grain mixture; uneven distribution of seeds.*

Authors' personal details

1. **Mudarisov Salavat**, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Road Construction, Municipal and Agricultural Machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 206/1, 34, 50-letiya Oktyabrya str., Ufa, phone: (347) 228-91-66, e-mail: salavam@gmail.com.

2. **Sharafutdinov Azat**, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Road Construction, Municipal and Agricultural Machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 155/1, 34, 50-letiya Oktyabrya str., Ufa, phone: (347) 228-06-17; e-mail: meh-fak@yandex.ru.

The purpose of the study is to justify the constructive and technological parameters of the horizontal distributor of a pneumatic seeder. The study analyzes the results of laboratory and field experiments. The main experimental dependences and the established rational parameters of the horizontal distribution device are given, the main physical and mechanical properties and the geometric parameters

of the seeds are determined. The modeling of the operation of a horizontal switchgear, allowed to establish that the air-grain mixture at the exit from the nozzle, depending on the speed at the entrance, deviates by some angle γ within $33...36^\circ$. The justification of the length of the distributor and the shape of its surfaces was made from the condition of reducing the resistance of the internal walls to the air

flow and the impact of seeds on them. Substantiation of the form of the output part of the distributor was carried out according to the criterion of the uniformity of pressure distribution over the seed tubes. The most preferable in terms of the uniformity of distribution is a curvilinear form as a flat transcen-

dental curve, since the coefficient of pressure variation in this case is lower compared to other forms. The obtained results allowed to determine the optimal constructive parameters of the horizontal distributor of a pneumatic seeder, in order to improve the quality of seed distribution.

© Мударисов С.Г., Шарафутдинов А.В.