УДК 631.331

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-50-2-131-136

С.Г. Мударисов, А.В. Шарафутдинов, И.М. Фархутдинов

ПОВЫШЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕМЯН ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕМ ЗЕРНОВОЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СЕЯЛКИ

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

Введение. Эффективность работы зерновых сеялок во многом определяется качеством распределения семенного материала, обеспечиваемого высевальной системой. Среди существующих высевальных систем сеялок наибольшее внимание заслуживают системы пневматического транспортирования с централизованным дозированием семян, позволяющие внедрять ресурсо-, энергосберегающие технологии в сельском хозяйстве. Однако пневматические системы с распределителями вертикального типа или индивидуального дозирования сравнительно энергоемки, имеют увеличенные габариты и не всегда обеспечивают хорошее качество высева семян с разными физико-механическими свойствами. Астахов В.С. в своих исследованиях обосновал возможность равномерного распределения в горизонтальных распределительных устройствах. Его работа была посвящена изучению влияния процесса высева зернового материала от конструктивных параметров распределения [2]. При изучении движения воздушно-зерновой смеси в пневмопроводе и распределительных устройствах авторы установили отрицательное влияние на равномерность распределения несимметричной подачи посевного материала к делительной головке. Указанная проблема является по сути следствием расслоения воздушно-зерновой смеси в подводящем трубопроводе и может быть частично решена применением турбулизаторов и направителей [7]. В работах Геша Л. и Кески В. [9] решение этого вопроса предлагалось за счет уста-

новки «диффузионных колец» в подводящем трубопроводе делительной головки. Константинов М.М., Рахимов Р.С., Рахимов З.С., Мударисов С.Г., Хлызов Н. Т. [4, 5, 8, 10–12] изучали вопросы работы посевной машины на склоновых полях и равномерности распределения семенного материала соответствующими распределителями. Анализ работ указанных авторов показывает, что для снижения неравномерности распределения посевного материала в данном случае рекомендуется использовать различные конструктивные решения, суть которых сводится к выравниванию потока посевного материала внутри распределителя посредством различных балансирных устройств. В работах Пятаева М.В. [8] рассмотрены вопросы повышения равномерности распределения семян по сеялкам 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. Мударисовым С.Г. и Шарафутдиновым А.В. предлагается использовать горизонтальный распределитель семян, обладающий меньшей энергоемкостью и материалоемкостью системы [4, 5]. Согласно результатам исследования Сентюрова А.С. [1] и проведенного анализа, предполагается, что распределительное устройство в подобной конфигура-

ции менее энергоемко, проще по конструкции и позволяет установить отводящие патрубки в ряд, будет иметь относительно малое аэродинамическое сопротивление и минимально травмировать семенной материал при распределении по патрубкам. Однако в процессе моделирования работы распределителя Мударисовым С.Г. и Шарафутдиновым А.В. было установлено, что зерновая смесь оказывает обратное влияние на воздушный поток [5]. Вследствие этого возникает турбулентность потока, приводящая к нарушению технологического процесса и неравномерности распределения семенного материала по семяпроводам. Для повышения равномерности распределения семян по семяпроводам необходимо совершенствовать конструкцию распределителя и обосновать его конструктивно-технологические параметры.

Цель исследования – повышение качества распределения семян путем совершенствования горизонтального распределителя зерновой пневматической сеялки и обоснование его параметров.

Условия, материалы и методы. В ходе исследования были использованы классические методы теоретической механики, а также компьютерное моделирование газодинамического процесса в программном комплексе FlowVision, где осуществляются поверочные расчеты на основе полных нелинейных уравнений Навье-Стокса с учетом эффектов турбулентности.

Для лабораторных исследований распределительных систем и обоснования их параметров была изготовлена экспериментальная установка зерновой пневматической сеялки на базе пневматической сеялки ССНП-16.

Результаты и обсуждение. Для повышения равномерности распределения семян пневматической системой зерновой сеялки предложено новое горизонтальное распределительное устройство (рисунок 1), 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 (γ_p), вставок, установленных под углом (γ_{pc}), и отводящих патрубков. Распределитель работает следующим образом: в процессе работы воздушно-зерновая смесь попадает по подводящему трубопроводу в распределительное устройство и за счет вставок равномерно распределяется по всему объему, далее по отводящим патрубкам попадает в семяпроводы.

В процессе моделирования работы распределителя по методике, описанной в [5], было установлено, что зерновая смесь оказывает обратное влияние на воздушный поток (рисунок 2), о чем свидетельствует направленность скорости воздуха в обратную сторону. Вследствие этого возникает турбулентность потока, приво-

дящая к нарушению технологического процесса и неравномерности распределения семенного материала по семяпроводам. В качестве дополнительных приспособлений для улучшения распределения семян предложено установить вставки круглой, эллипсоидной форм и различные рассекатели (рисунок 3).

Рисунок 1
Новое горизонтальное распределительное устройство

Рисунок 2
Траектории движения воздушно-зерновой смеси в распределительном устройстве

Рисунок 3
Схемы вставок: а) эллипсоидная вставка, б) каплевидная вставка, в) рассекатели

При исследовании вставок скорость воздушного потока и подача семенного материала были приняты соответствующими рабочему диапазону. Для определения рациональных форм отражательных поверхностей и места их расположения были проведены лабораторные исследования. Для данного лабораторного исследования использовались три формы вставок: каплевидная, эллипсоидная и рассекатели. Меняли их место расположения вдоль оси симметрии от начала расширяющегося раструба в направлении движения воздушно-зерновой смеси ($L_{рс}$). Как показывают статистические характеристики (таблица 1), при использовании вставок эллипсоидной и каплевидной форм неравномерность давления воздушного потока изменяется в пределах 12...18 % в зависимости от их формы и положения, что явно не удовлетворяет агротехническим требованиям. При использовании вставок в форме рассекателей неравномерность давления воздушного потока меняется от 3 до

6 %. Дальнейшее использование таких вставок для улучшения равномерности распределения зернового материала не приемлемо для данного типа распределителей.

В связи с этим было принято решение об использовании в качестве дополнительных вставок вертикальные рассекатели. Дальнейшие исследования были направлены на определение влияния положения рассекателя на распределение воздушного потока по выходам. В таблице 2 представлены статистические характеристики распределения давления в зависимости от положения рассекателя. По данным таблицы 2 и построенной на их основе зависимости вариации давления от положения рассекателя видно, что распределение давления по выходам улучшается при положении вставки на расстоянии от 220 до 310 мм. В результате моделирования было также установлено, что на движение воздушно-зерновой смеси влияет не только положение вставки, но и углы наклона его пластин.

Таблица 1 Статистические характеристики давления по семяпроводам для вставок

Тип вставки	Показатель	Положение вставок	
		200 мм	380 мм
Каплевидная вставка	Среднее значение давления по выходам, Па	166,42	151,47
	Коэффициент вариации, %	0,18	0,12
Эллипсоидная вставка	Среднее значение давления по выходам, Па	123,93	122,05
	Коэффициент вариации, %	0,15	0,17

Рисунок 4

Графики распределения давления по выходам с применением различных вставок на расстоянии 200 мм от начала распределителя

Таблица 2 Статистические характеристики распределения давления по выходам при применении вставки с вертикальными рассекателями

Показатель	Положение вставки				
	200 мм	245 мм	290 мм	335 мм	380 мм
Среднее значение давления, Па	138,04	130,34	129,77	108,92	143
Вариация, %	6,07	3,29	3,26	7,95	5,84

Дальнейшие исследования сводились к проверке полученных геометрических параметров распределителя и вставки в реальных условиях. Габариты распределителя длина × ширина × высота с учетом возможности крепления подводящих патрубков и семяпроводов получились следующими: 818 × 747 × 145 мм. Такие габариты распределителя позволяют его устанавливать

вместо существующих вертикальных распределителей зерновых пневматических сеялок ССНП-16. На рисунке 6 представлена фотография изготовленного по установленным параметрам распределителя. Для визуализации процесса движения семян внутри распределителя его верхняя стенка изготовлена прозрачной.

Рисунок 5

Зависимость коэффициента вариации (давления по выходам) от места расположения вставки

Рисунок 6

Распределительное устройство с вставкой в форме рассекателей

Из-за отсутствия единых стандартов по определению качественных показателей высева ЦВС и их количественной оценки нами использован ГОСТ 1716-68 «Аппараты высевальные, катушечные», где за основу качественных пока-

зателей приняты средняя неравномерность распределения между высевальными аппаратами. Определив форму и месторасположение вертикальных вставок, в дальнейшем рассматривали вопрос влияния угла установки (γ_{pc}) относительно оси симметрии раструба на процесс распределения воздушно-зерновой смеси.

Обработка результатов проводилась по известным формулам математической статистики [3]. Определялись среднее арифметическое значение, среднеквадратичное отклонение, дисперсия и коэффициент вариации. Результаты исследований показали зависимость коэффициента вариации (давления) при постоянной скорости воздушного потока от места расположения вставок и угла установки относительно оси. Графическое изображение поверхности отклика от взаимодействия угла установки и месторасположения представлено на рисунке 7 и 8. Из рисунка видно, что поверхность отклика вогнутая.

Рисунок 7

Поверхность отклика от взаимодействия угла установки и месторасположения рассекателей

Рисунок 8

Двумерное сечение поверхности отклика

Пользуясь результатами факторного эксперимента, получим описание изучаемой системы

(процесса) в виде полиномиального уравнения линейной регрессии:

$$Y = 32,857 - 1,081 \cdot x_1 + 0,02605 \cdot x_1^2 - 0,154 \cdot x_2 + 0,0003 \cdot x_2^2 - 0,00032 \cdot x_1 \cdot x_2,$$

где x_1 – угол установки рассекателей (γ_{pc}); x_2 – место расположения вставок (L_{pc}); Y – оценка математического ожидания выходного параметра – вариация давления по выходам.

Коэффициенты полученного уравнения показывают, что из параметров оптимизации большее влияние оказывает угол установки рассекателей. В результате минимум коэффициента вариации давления достигается при угле установки рассекателей $\gamma_{pc} = 22,5^\circ$ и месте установки $L_{pc} = 260$ мм. Следовательно, при таком расположении обеспечивается равномерное распределение давления воздушно-зерновой смеси по выходам,

что способствует равномерному распределению семенного материала по семяпроводам.

Вывод. По качеству распределения семян наиболее полно отвечает горизонтальное распределительное устройство в виде расширяющегося раструба от входа к выходам с криволинейной формой выходной части в виде плоской трансцендентной кривой и установленными внутри вертикальными плоскими рассекателями. Оптимальными значениями для рассекателей являются расстояние от конца подводящего трубопровода до их центра $L = 260$ мм, угол установки пластин $22,5^\circ$.

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. Вуколов, Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTIKA и EXCEL [Текст]: учебное пособие / Э.А. Вуколов. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФОРУМ, 2008. 464 с.
4. Мударисов, С.Г. Моделирование пневматической системы зерновой сеялки [Текст] / С.Г. Мударисов, И.Д. Бадретдинов, А.В. Шарафутдинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 2. С. 10–12.
5. Мударисов, С. Г. Обоснование конструктивно-технологических параметров горизонтального распределителя пневматической сеялки [Текст] / С.Г. Мударисов, А.В. Шарафутдинов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (49). С. 133–139.
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. К вопросу о моделировании процесса распределения семян распределителем пневматической зерновой сеялки [Текст] / М.В. Пятаев, А.П. Зырянов, Н.А. Кузнецов // Вестн. КрасГАУ. 2014. № 9. С. 177–182.
8. 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.
9. Gierz L., Keska W. Laboratory tests on seed stream distribution in the pneumatic seed drill head. J. Inzynieria Rolnicza. 2011. № 8 (133). P. 117–125.
10. Lei X., Liao Y., Liao Q. Design and test of an inside-filling pneumatic precision centralized seed-metering device for rapeseed. Int. J. Agric & Biol Eng, 2017. Vol. 10. No. 2; 56–62.
11. Lei X., Liao Y., Liao Q. Simulation of seed motion in seed feeding device with DEM-CFD coupling approach for rapeseed and wheat. Computers and Electronics in Agriculture. 2016; 131: 29–39.
12. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Y.P., Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage Soil & Tillage Research. 2019. T. 190. C. 70–77.

Сведения об авторах

1. **Мударисов Салават Гумерович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительно-дорожных, коммунальных и сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, 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, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, 50-летия Октября, 34, к. 155/1, тел.: (347) 228-06-17, e-mail: meh-fak@yandex.ru.

3. **Фархутдинов Ильдар Мавлярович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного-дорожных, коммунальных и сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: ildar1702@mail.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. В процессе моделирования было установлено, что во внутренней полости горизонтального распределителя возникает завихрение воздушного потока из-за обратного влияния на него зерновой смеси. Данное обстоятельство приводит к нарушению технологического процесса и ухудшению распределения семян по семяпроводам. При установке внутри распределителя

плоских вертикальных рассекателей распределение давления по выходам становится более равномерным. В результате экспериментальных исследований было установлено, что на качество распределения семян влияет положение рассекателя и углы наклона ее пластин. Для определения их оптимальных значений были проведены многофакторные эксперименты, а по их результатам построены поверхности отклика, двумерные сечения и получено кодированное уравнение. Полученные результаты позволили определить конструктивные параметры горизонтального распределителя пневматической сеялки с целью повышения качества распределения семян.

S. Mudarisov, A. Sharafutdinov, I. Farkhutdinov

MORE PRECISE SEED PLACEMENT WITH A HORIZONTAL SEED SPREADER OF AN AIR PLANTER

Key words: *horizontal seed spreader; air grain planter; air-grain mixture; uneven placement 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», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, room 206/1, 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», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, room 155/1, phone: (347) 228-06-17, e-mail: meh-fak@yandex.ru.

3. **Farkhutdinov Ildar**, 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», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: ildar1702@mail.ru.

The aim of the research is to justify design and technological parameters of a horizontal seed spreader in the air planter. During the investigation laboratory and field experiments were analyzed. There are main experimental dependences and rational parameters of the horizontal spreading device. While modeling it has been found that there is air turbulence inside of the spreader due to the inverse effect of the grain mixture. It results in breakdown in the technological process and worse distribution of seeds in drill tubes. When there are flat

horizontal splitters, the pressure is distributed evenly. As the result of the experimental research it has been found that seed placement quality depends on the splitter position and the slope angle of its plates. To find their optimal values multi-factor experiments were conducted. According to their results we developed response surfaces, two-dimensional sections and an encrypted equation. The results obtained made it possible to find design parameters of the horizontal seed spreader in the air planter to increase seed distribution quality.

© Мударисов С.Г., Шарафутдинов А.В., Фархутдинов И.М.