

УДК 631.331.022

С.О. Нукешев, К.Д. Есхожин, М.Х. Токушев

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана

Н.Н. Романюк

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ДОЗИРОВАНИЕМ

В настоящее время тенденция развития посевных машин показывает, что наиболее производительны, экономически эффективны и перспективны посевные комплексы с централизованным дозированием семян и удобрений [1-3].

Одним из основных недостатков распределительных систем с централизованным дозированием семян и удобрений пневматических сеялок является недостаточная равномерность подачи семян в сошники. В результате испытаний зарубежных сеялок, применяемых на наших полях, установлено, что показатель неравномерности высева составляет 16...19% [4].

Главным элементом пневматической системы является распределитель семян и удобрений. На практике существуют два вида распределителей - это круглые и плоские (секторные) распределители. Наибольшее распространение получили круглые распределители. Недостатки круглых распределителей описаны А.М. Плаксиным [5].

При установке распределительных устройств на горизонтальных участках семяпровода для перераспределения сконцентрированных частиц равномерно по всему сечению трубопровода до их поступления в делительную головку возникает необходимость дополнительного воздействия на материал, то есть задание потоку аэросмеси определенного вида упорядоченного движения. В частности, это возможно осуществить, подвергнув двухкомпонентный поток закручиванию, т.е. сообщением дисперсной фазе потока винтового движения. Для этой цели в материалопровод, непосредственно перед длительной головкой, неподвижно устанавливается дополнительный конструктивный элемент - винт-распределитель, выполненный в виде винтовой спирали, навитой на стержень (рис. 1).

Винт-распределитель занимает все поперечное сечение материалопровода и включает трубопровод 1, неподвижно закрепленный стержень, на который навита винтовая спираль 2, распределительную головку, состоящую из корпуса 3, конической вставки 4 и отводов 5.

Поступивший на распределитель, поток закручивается и вследствие обретенного вращательного движения под воздействием центробежных сил инерции прижимается к внутренней стенке материалопровода, распределяется по ней ровным слоем, обретая при этом в поперечном сечении форму полого цилиндра при выходе материала из винт-распределителя. Сформированный таким образом поток поступает к отводам делительной головки.

Применение многозаходного винта-распределителя, витки которого имеют разные углы подъема винтовых линий и на выходе делят сечение на равные сектора, способствует механическому перераспределению материала, движущегося в нижней части горизонтального трубопровода, на равные части и в виде вращающегося кольца материала подает к отводам.

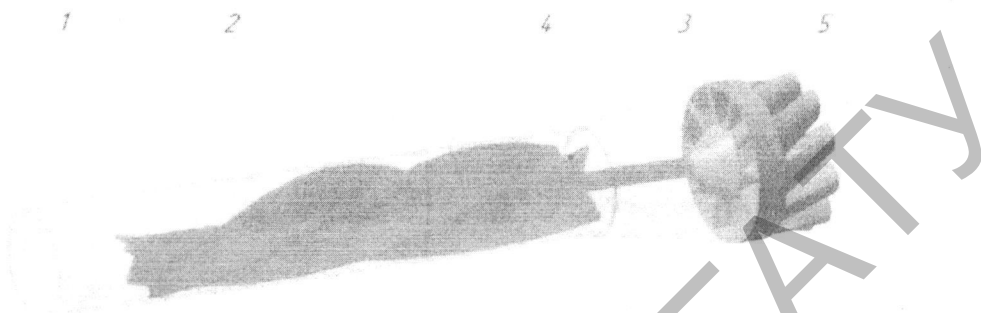


Рисунок 1 – Распределительное устройство

Для обоснования параметров распределителя рассмотрим движение удобрения по участкам материалопровода. Материалопровод можно условно разделить на три участка – I, II, III (рис. 2).

Теоретическое обоснование участков материалопровода I и II изложено в материалах [6].

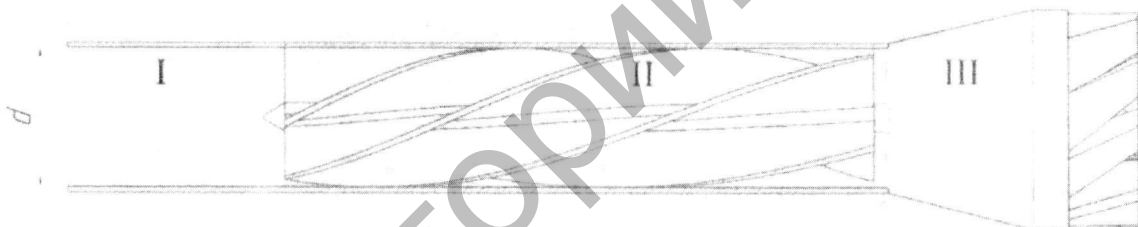


Рисунок 2 – Участки материалопровода

Рассмотрим III участок. На частицу действуют силы тяжести mg , аэродинамическая движущая сила $-P_B$, центробежная сила $F_U = \frac{mv^2}{R}$ (рис. 3).

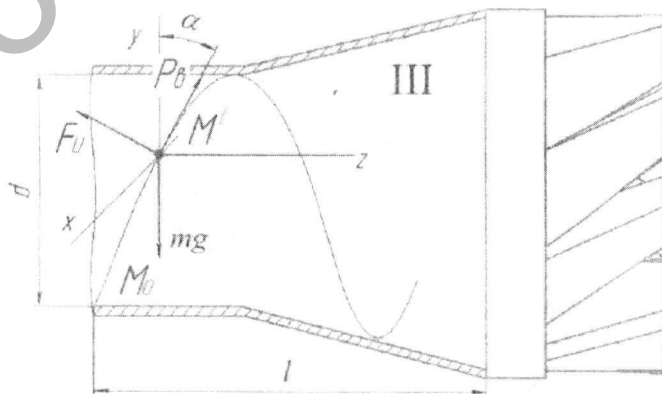


Рисунок 3 – III участок материалопровода

Величина аэродинамической силы определяется по известному выражению [7]:

$$P_n = mk_n(\vartheta - u)^2,$$

где k_n – коэффициент парусности; m – масса частицы; ϑ и u – средние скорости 2-х компонентов потока.

Система уравнений, характеризующих движение частицы на естественных осях x , y , z , запишется следующим образом:

$$\begin{cases} m \frac{du_x}{dt} = mk_n(\vartheta - u)^2 \cos \alpha - mg \cos \alpha, \\ m \frac{du_y}{dt} = mk_n(\vartheta - u)^2 \sin \alpha - mg, \\ m \frac{\vartheta^2}{\rho} = \frac{mu^2}{R} - mg \sin \alpha. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь предполагается, что k_n – величина постоянная, а скорость воздушного потока берется средней по сечению. Если силы сопротивления воздушного потока уравновешивают силы тяжести частиц в вертикальной плоскости трубопровода, то ее скорость равна нулю, или частица будет двигаться с постоянной скоростью, т.е. $\frac{du_y}{dt} = 0$. Тогда, решая второе уравнение из системы (1), определяем коэффициент парусности k_n :

$$k_n = \frac{g}{\vartheta_n^2 \sin \alpha}. \quad (2)$$

Преобразуя первое уравнение системы (1) с учетом (2), получим дифференциальное уравнение движения частицы удобрения по III участку материалопровода:

$$\frac{du}{dt} = \frac{g}{\vartheta_n^2} [(\vartheta - u)^2 \operatorname{ctg} \alpha - \vartheta_n^2 \cos \alpha]. \quad (3)$$

Для определения длины материалопровода по участкам интерес представляет решение уравнения (3) в виде $u = u(l)$. Проводя замену переменной, будем иметь:

$$u \frac{du}{dl} = \frac{g}{\vartheta_n^2} [(\vartheta - u)^2 \operatorname{ctg} \alpha - \vartheta_n^2 \cos \alpha]. \quad (4)$$

Опустив порядок интегрирования уравнений (4), при начальных условиях по участку III $l_n = 0$, $u = u_2$, окончательно получим решение уравнения (4):

$$l = \frac{\vartheta_n \sin \alpha}{2g \cos^2 \alpha} \left[(\vartheta - \vartheta_n) \ln \frac{\vartheta - \vartheta_n}{\vartheta - \vartheta_n - u} - (\vartheta + \vartheta_n) \ln \frac{\vartheta + \vartheta_n}{\vartheta + \vartheta_n - u} \right]. \quad (5)$$

Полученная зависимость (5) позволит определить рациональную длину участка материалопровода.

Для проверки работоспособности предложенной винтовой спирали совместно с коническим участком III проведены экспериментальные исследования.

Результаты экспериментальных исследований по установлению влияния расстояния между распределителем и делительной головкой на качество распределения удобрения по отводам представлены графически на рис. 4.

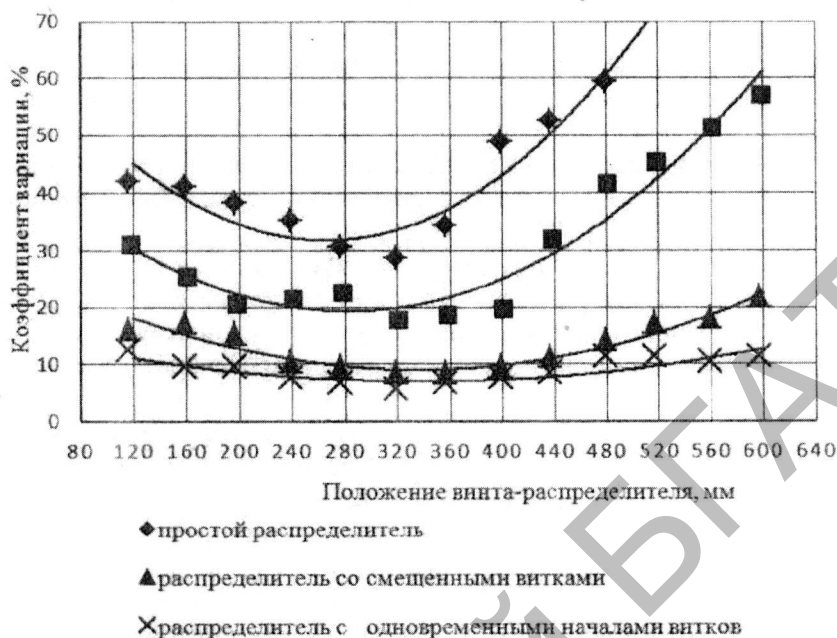


Рисунок 4 - Зависимости равномерности распределения материала от положения распределителя

В этих экспериментах участвовали 4 типа распределителя, отличающиеся конструктивными исполнениями:

- Простой распределитель – четырехзаходный обыкновенный винт длиной 160 мм, наружный и внутренний диаметры которого равны соответственно 80 и 20 мм и с шагом 150 мм.

- Распределитель комбинированный – навстречу пневмопотoku последовательно установлены два винта: первый – двухзаходный, длиной 100 мм, наружный и внутренние диаметры 48 мм, 20 мм, шаг 150 мм, второй – четырехзаходный, конический (малый и большой диаметры 480 мм, 78 мм), шаг 150 мм, длиной 150 мм.

- Распределитель со смещенными витками - четырехзаходный винт длиной 220 мм, наружный и внутренний диаметры 80 и 20 мм, шаг 150 мм. Начиная со второго, каждый последующий виток начинается со смещением в продольном направлении таким образом, чтобы начало витков в поперечном сечении трубопровода занимало сектор окружности в 170° , расположенный симметрично вертикальной оси.

- Распределитель четырехзаходный с одновременными началами витков, где виток делит количество материала на равную пропорцию. Каждый виток выполнен с различным шагом, длина винта составляет 190 мм.

Расстояние между распределителем и делительной головкой изменялось в пределах от 120 до 600 мм с интервалом 40 мм. Частота вращения вентилятора (следовательно, и напор воздушного потока) постоянна и равна 53,33 рад/с.

В этих опытах критерием оценки качества распределения сыпучего материала по отводам служит коэффициент вариации - неравномерность распределения материала по отводам [8].

Из рис. 4 виден характер кривых, устанавливающих зависимость качества распределения по отводам от расстояния между распределителем и делительной головкой. В

дальнейшем «расстояния между распределителем и делительной головкой» использовали коротко как «расстояние» для всех рассматриваемых типов конструкции распределителя.

В начале идет плавное, но неуклонное снижение коэффициента вариации, т.е. неравномерности распределения материала в сечении трубопровода. Так, при увеличении расстояния от 120 до 320 мм (2,6 раза), снижение неравномерности распределения материала составит: для простого распределителя - 1,6 раза (от 42,5 до 26,97%); для распределителя со смещенными витками - 1,8 раза (от 26,5 до 14,35%); для комбинированного распределителя - 1,78 раза (от 14,25 до 7,97%).

Важной особенностью рассматриваемых зависимостей является то, что все кривые по коэффициенту вариации достигают точку «минимума» при расстоянии 320 мм.

Дальнейшее увеличение расстояния приводит к неуклонному, резкому повышению коэффициента вариации, т.е. к снижению качества распределения материала по отводам. Отсюда можно заключить, что для всех рассматриваемых конструкций распределителей по качеству распределения материала оптимальным следует считать расстояние от распределителя до делительной головки 320 мм. Следует иметь виду, что при изменении напора воздушного потока, т.е. частоты вращения вентилятора, оптимальное расстояние также изменится. При повышении напора оно также увеличится.

Сравнительно высокие коэффициенты вариации в начале можно объяснить тем, что при малых расстояниях материал не успевает получить устойчивое закручивание и уже встречается с делительной головкой. В результате - неравномерное распределение по отводам. После оптимальной точки (320 мм) при больших расстояниях из-за снижения напора материал, не достигая делительной головки, начинает терять кинетическую энергию и скапливаться в нижнем секторе трубопровода. В результате резко повышается неравномерность распределения.

Несмотря на то, что все конструкции распределителей дают лучшие результаты по распределению материала на расстоянии 320 мм, количественные показатели в этой «лучшей» точке различны. Так, коэффициенты вариации на оптимальном расстоянии составляют: для простого распределителя - 26,97%, для распределителя со смещенными витками - 14,79% (в 1,825 раза лучше предыдущего), для комбинированного распределителя - 7,97% (в 3,38 и 1,85 раз лучше предыдущих).

Лучшие результаты простого распределителя по коэффициенту вариации в пределах 27-30% достигаются на расстояниях 280-345 мм. Наилучшие результаты распределителя со смещенными витками в пределах 14,79-20% достигаются на расстояниях 240-390 мм. Низкую неравномерность в пределах 7,97-12,5% комбинированный распределитель достигает на расстояниях 200-440 мм. Лучшие результаты распределителя с одновременными началами витков в пределах 6,65-11,8% достигаются на расстояниях 160-540 мм.

Как видно, наилучшее качество распределения материала по рукавам обеспечивает четырехзаходный распределитель с одновременным началом витков, причем он менее чувствителен на расстояние от него до делительной головки. Так, диапазон оптимальных расстояний для простого распределителя составляет 65 мм, для распределителя со смещенными витками - 150 мм, для комбинированного распределителя - 220 мм, а для распределителя с одновременным началом витков - 380 мм.

Можно сделать следующее заключение. Предложенный способ установки на пути потока четырехзаходной винтовой спирали с одновременным смещением начала витков сообщает первому вращательное движение, которое способствует распределению частиц ровным слоем по внутренней стенке материалопровода. С помощью полученной теоретической зависимости скорости частиц от конструктивных параметров распределителя можно определить предельные их значения. Анализ графической зависимости позволяет

выбрать из рассматриваемых вариантов распределитель с одновременным началом витков. Это можно объяснить тем, что материал,двигающийся в основном в нижней части трубопровода, лучше распределяется между витками такого распределителя. В результате показатель оценки качества распределения материала по отводам стал стабильным и устойчивым.

Список литературы

1. Любушко Н.И. Зерновые сеялки на рубеже XXI века / Н.И. Любушко, В.Н. Зволинский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 2. – 4-7 с.
2. Зволинский В.Н. Использование отечественного опыта при создании посевной техники / В.Н. Зволинский, Н.И. Любушко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – № 11. – 22-24 с.
3. Шеварёв Л.Ю. Совершенствование процесса дозирования семян зерновых культур сеялкой с централизованным высевом: Дис. ... канд. техн. наук / Л.Ю. Шеварёв. – Серноград, 2004. – 14 с.
4. Протоколы испытаний на Целинной МИС канадских сеялок «Moris-620» (протокол МИС № 30-72-85) и фирмы «Flexi-Coil» (отчет Целинной МИС № 30-76-90).
5. Плаксин А.М. Определение рациональных параметров отражателя пневматической зерновой сеялки / А.М. Плаксин, М.В. Пятаев // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. – 2010. – № 7. – 74-77 с.
6. S.O. Nukeshev, K.D. Eskhozhin, M.H. Tokushev and Z.M. Zhazykbayeva. Substantiation of the Parameters of the Central Distributor for Mineral Fertilizers / International journal of environmental & science education 2016, VOL. 11, NO. 15.
7. Зуев Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1976. – 344 с.
8. Румшинский Л.З. Математические обработки результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

Получено 15.01.2016