

DOI
УДК 631.331

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА НА ОСНОВЕ СЕЯЛКИ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ВЫСЕВОМ

Кравцов Артем Витальевич, аспирант кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ.

440039, г. Пенза, проезд Байдукова /ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: artem-kravtsov-penzgtu@yandex.ru

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ.

440039, г. Пенза, проезд Байдукова /ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Кухмазов Кухмаз Зейдулаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технический сервис в АПК», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: kuhmazov.k.z@pgau.ru

Зайцев Владимир Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ.

440039, г. Пенза, проезд Байдукова /ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: vluzai@gmail.com

Ключевые слова: сеялка, пневмосистема, распределитель, аппарат, агрегат.

Цель исследования – разработка структурной схемы функционирования посевного агрегата с пневматическим высеvom. Посев семян является одним из основных технологических процессов, определяющих конечный результат всего комплекса полевых работ по возделыванию зерновых культур. Установить влияние различных факторов, в том числе конструктивных решений, на качественные показатели работы посевного агрегата возможно путем разработки и анализа его структурной схемы функционирования. На основе анализа конструктивно-технологической схемы машинно-тракторного агрегата для посева зерновых культур, условий его работы, гранулометрического состава и физико-механических свойств посевного материала и удобрений разработана структурная схема функционирования посевного агрегата с пневматической сеялкой. Анализ структурной схемы функционирования посевного агрегата позволил выявить основные направления улучшения качественных и количественных показателей высева. Точность высева семян определяется настройкой высевающего аппарата на заданную норму высева, компенсируя проскальзывание колес. Улучшение равномерности высева по рядкам возможно за счет совершенствования конструкции распределителя с трубопроводом (от эжектора до распределителя) и снижения пульсации мгновенной подачи высеваемого материала из высевающего аппарата, а также частичного сглаживания при движении частиц материала в пневмосистеме сеялки. Снижение травмирования семян возможно за счет улучшения конструкции высевающего аппарата, снижения скоростного режима движения воздушно-продуктового потока, совершенствования конструкции пневмосистемы в части предотвращения лобовых ударов частиц о стенки пневмосистемы. Улучшение равномерности заделки семян в рядке определяется конструкцией сошниковой группы и ее соответствием скоростному режиму движения сеялки при соблюдении допустимых значений скорости выхода воздуха из сошника.

FUNCTIONAL DIAGRAM OF THE SOWING UNIT BASED ON A PNEUMATICALLY OPERATED SEEDER

A. V. Kravtsov, Graduate Student of the Department «Engineering Technology», FSBEI HE Penza State Technological University.

440039, Penza, travel Baidukova/Gagarina street, 1A/11.

E-mail: artem-kravtsov-penzgtu@yandex.ru

V. V. Konovalov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Engineering Technology», FSBEI HE Penza State Technological University.

440039, Penza, travel Baidukova/Gagarina street, 1A/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

K. S. Kuchmasov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Technical service in agriculture», FSBEI HE Penza State Agrarian University.
440014, Penza, Botanicheskaya street, 30.
E-mail: kuhmazov.k.z@pgau.ru

V. Yu. Zaitsev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Engineering Technology», FSBEI HE Penza State Technological University.
440039, Penza, travel Baidukova/Gagarina street, 1A/11.
E-mail: vluzai@gmail.com

Key words: seeder, pneumatic system, distributor, apparatus, unit.

The purpose of the study is developing a structural scheme for the operation of a pneumatic seeding unit. Seeding down is one of the main technological processes determining the final result of total field operations targeted at the cultivation of grains. It is possible to determine the influence of various factors, including design solutions, on the quality performance of the sowing unit by developing and analyzing its structural scheme of functioning. Based on the analysis of constructive-technological scheme of the machine-tractor unit for grains sowing, conditions of work, textural composition and physical and mechanical properties of seed and fertilizer structural diagram of the functioning of the sowing unit with pneumatically operated seeder was developed. The analysis of the structural scheme of functioning of the sowing unit allowed revealing main directions of improvement of qualitative and quantitative indicators of seeding. Improving the accuracy of seeding is determined by setting the seeding machine to a given seeding rate, taking into regard compensation for wheel slippage. The improved uniformity of seeding in rows may account for the improvement of the design of rail line (from the ejector to the distributor) and reduction of the ripple of the sown material from that meter, as well as the partial smoothing of the motion of seed in the pneumatic system of the drill. Reducing seed injury is possible due to the improving the design of the sowing apparatus, reducing the speed mode of the air concentrated product flow, improving the design of the pneumatic system in terms of preventing frontal impacts of particles on the walls of the pneumatic system. Improving the uniformity of seeding in a row is determined by the design of the Coulter group and its compliance with the speed mode of the seeder operation, subject to the permissible values of the air outlet speed from the Coulter.

Посев семян является одним из основных технологических процессов, определяющих конечный результат всего комплекса полевых работ по возделыванию зерновых культур [1]. Анализ укладки и заделки семян, выполняемых наиболее распространенными отечественными и зарубежными сеялками, показывает, что они могут быть сведены к нескольким обобщенным процессам: отвод комков, открытие борозды, укладка семян, закрытие борозды, уплотнение (поверхностное, плоское) почвы [1, 2, 3]. Наличие различных посевных агрегатов дает возможность выбора конструкции и ее конструктивно-режимных параметров, обеспечивающих наиболее приемлемую технологию посева в соответствии с агротехническими требованиями для конкретных почвенно-климатических условий [3].

Для увеличения урожайности каждого растения, оно должно получать для роста необходимое ему потребное количество питательных веществ [1]. С этой целью производится нормированное внесение семян и удобрений, а также их равномерное распределение по площади питания и глубине заделки. Существующие механизированные технологии посева семян предусматривают использование сеялок, обеспечивающих данные требования [4, 5].

Стремление повысить производительность машинно-тракторных агрегатов и снизить затраты труда на посев за счет увеличения скорости движения агрегата и его рабочей ширины (более 4-6 м) вытеснило применение сеялок с большим количеством параллельно расположенных высевочных аппаратов. Появились более технологичные сеялки с пневматическим высевом семян и гранул минеральных удобрений [6, 7]. Однако низкая точность распределения семян по ширине захвата (поперечная неравномерность высева) является одной из проблем пневматического высева семян [8, 9]. Неравномерность распределения семян между рядами оценивается коэффициентом вариации (ISO-7256/2). По агротехническим требованиям коэффициент вариации распределения семян должен быть ниже 5% для семян зерновых и ниже 10% для удобрений [10]. Указанные показатели нормируются на основе механических сеялок. Со ссылкой на исследования McKay (1979) [11] А. Yatskul [6] отмечал, что из-за принципиальной невозможности достижения в XX веке показателей равномерности распределения семян пневматическим высевом, близких к нормативным

требованиям, были изменены сами требования. В обновленных технических требованиях допустимое значение коэффициента вариации было увеличено до 15% [11].

Несмотря на то, что пневматический высев применяется более 50 лет, реализовано небольшое количество технических решений распределителей сеялок (горизонтальный и вертикальный) для повышения равномерности распределения семян [3, 12, 13]. Горизонтальные распределители снижают энергопотребление вследствие отсутствия изгибов и перепада высот, использования низких скоростей потока, сокращения длины семяпроводов и облегчения их монтажа [6, 8]. Однако проблемным остается вопрос распределение высеваемого материала по семяпроводам из-за воздействия силы тяжести [6]. Шире применяются вертикальные распределители. Ряд вертикальных распределителей размещен непосредственно над вертикальным эжектором подачи семян [3, 10], и за счет этого отсутствуют повороты пневмопровода. Однако при этом уменьшается полезный объем бункеров и рабочая ширина захвата агрегата. Для увеличения площади посева при однократном заполнении бункера используют вынесенное расположение распределителя. В данном случае используются поворотные устройства – колена, смещающие поток к стенке трубопровода. Это ухудшает равномерность распределения высеваемого материала по сошникам. Ряд исследователей [13] пытаются устранить данный недостаток установкой распределителей в несколько ступеней.

Установить влияние различных факторов, в том числе конструктивных решений, на качественные показатели работы посевного агрегата возможно путем разработки и анализа его структурной схемы функционирования.

Цель исследования – разработка структурной схемы функционирования посевного агрегата с пневматическим высевом.

Задачи исследования – определить основные факторы, влияющие на качественные показатели технологического процесса высева семян и гранулированных удобрений сеялки с пневматическим высевом, и способы их улучшения.

Материалы и методы исследований. В настоящее время все большее распространение находят сеялки с пневматическим высевом семян зерновых культур. Конструктивно-технологическая схема посевного агрегата на основе сеялки с пневматическим высевом представлена на рисунке 1.

Посевной агрегат состоит из трактора (на схеме показаны только его ведущие колеса 2) и прицепной сеялки, опирающейся на почву 1 колесами 14. На раме сеялки 3 установлены все ее основные узлы и агрегаты. Семенной материал и гранулы минеральных удобрений загружаются в соответствующие им бункеры 7. Под бункером расположен высевающий аппарат (дозатор) 6. Привод высевающего аппарата осуществляется от опорного колеса 14 сеялки. На раме сеялки также установлена пневматическая система высева. В состав пневматической системы высева входят: вентилятор 4 с приводом от ВОМ трактора, эжекторы 5 для зерна и гранул, трубопровод (в составе горизонтального 15 и вертикального 10 участков и колена 11 между ними), распределитель 8 потока материала, семяпроводы 9 и сошники 12. Положение сошников 12 и прикатывающих валков определяется специальными механизмами 13.

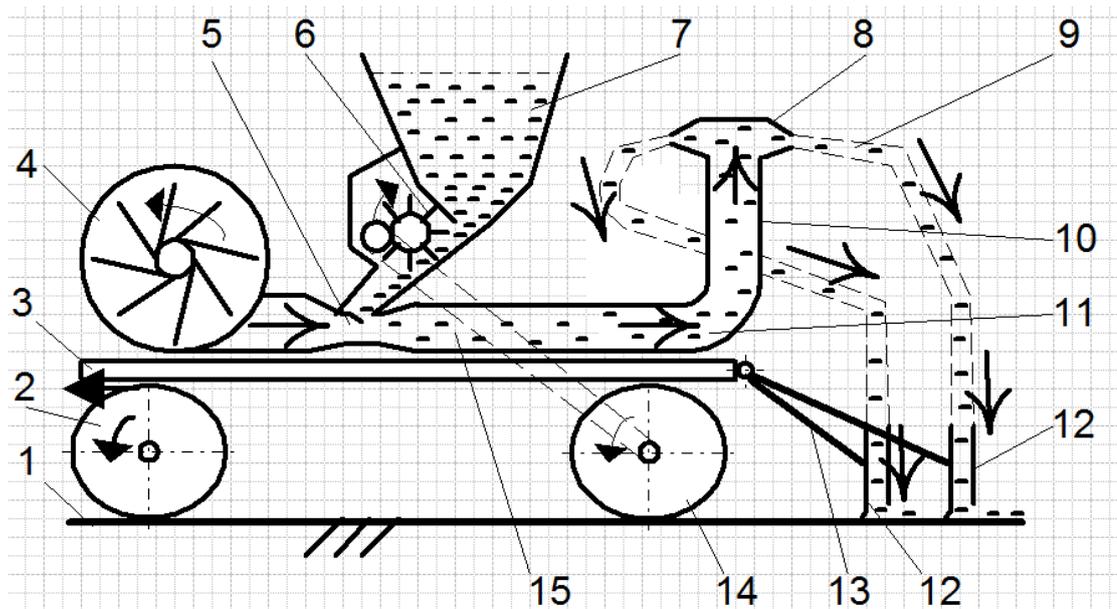


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема посевного агрегата с пневматическим высевом:
 1 – почва; 2 – ведущие колеса трактора посевного агрегата; 3 – рама сеялки; 4 – вентилятор пневмосистемы;
 5 – эжектор; 6 – высевашный аппарат (дозатор); 7 – бункер семян или гранул удобрений; 8 – распределитель; 9 – семяпроводы; 10 – вертикальный участок трубопровода; 11 – колено; 12 – сошник; 13 – механизм управления сошником;
 14 – опорные колеса сеялки; 15 – горизонтальный участок трубопровода

Высев семян осуществляется следующим образом. При движении посевного агрегата дозированные семена поступают в эжектор 5, подхватываются воздушным потоком, созданным вентилятором 4, и направляются по трубопроводу 15 и 10 в распределитель 8. После распределителя 8 семена по семяпроводам 9 (гибким шлангам) направляются через отверстия в сошниках 12 в борозды, созданные рабочей частью сошников 12, и заделываются на заданную глубину. Методика исследований предусматривает аналитическое определение взаимосвязей конструктивных и режимных параметров посевного агрегата и показателей его работы.

Результаты исследований. Анализ конструктивно-технологической схемы посевного агрегата с пневматической сеялкой, условий его работы, гранулометрического состава и физико-механических свойств посевного материала и удобрений позволил разработать структурную схему функционирования посевного агрегата (рис. 2) и установить показатели рабочего процесса основных устройств и рабочих органов.

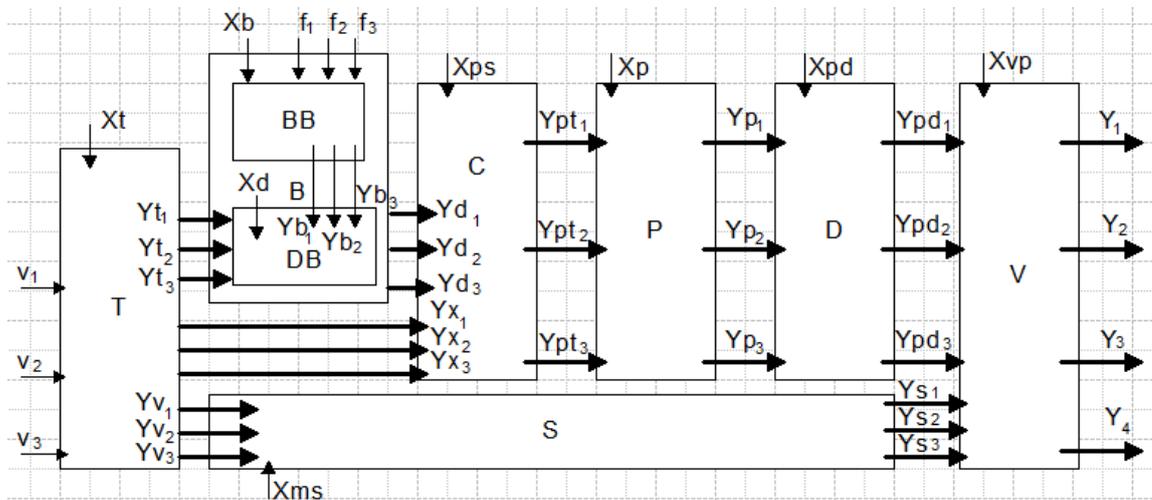


Рис. 2. Структурная схема функционирования посевного агрегата с пневматическим высевом:

$V_1, V_2, V_3 \dots$ – обобщенные статистические показатели, характеризующие привод посевного агрегата: мощность (крутящий момент и частота вращения приводного вала), запас мощности, неравномерность вращения, соответствие напора и расхода гидропривода мощности и частоте вращения вала ВОМ; f_1, f_2, f_3 – обобщенные статистические показатели, характеризующие гранулометрический состав семенного материала и гранул удобрений (далее: частицы высеваемого материала), их физико-механические свойства и всхожесть; T, X_t – транспортное средство посевного агрегата (далее по тексту: X – обобщенные значения внутренних факторов указанных устройств); B – высевательный аппарат сеялки; BB, X_b – бункерное устройство высевательного аппарата; DB, X_d – дозирующее устройство высевательного аппарата; C, X_{ps} – система пневмотранспорта с вентилятором, эжекторами и трубопровода; P, X_p – распределитель; D, X_{pd} – система пневмодоставки частиц материалов от распределителя до сошников; S, X_{ms} – сошники; V, X_{vp} – система высева частиц материала, включая параметры выходного отверстия сошников, борозды, устройств закрытия борозды и уплотнения почвы; Y_{v1}, Y_{v2}, Y_{v3} – показатели, характеризующие запас крюкового усилия, скорость и равномерность движения посевного агрегата; Y_{x1}, Y_{x2}, Y_{x3} – показатели, характеризующие запас крутящего момента, частоту вращения и неравномерность вращения вала вентилятора; Y_{t1}, Y_{t2}, Y_{t3} – показатели, характеризующие запас крутящего момента и частоту вращения вала дозатора высевательного аппарата, проскальзывание приводного колеса и неравномерность вращения вала дозатора; Y_{b1}, Y_{b2}, Y_{b3} – показатели, характеризующие подачу материала, наличие сводообразования и изменение подачи по мере опорожнения бункера; Y_{d1}, Y_{d2}, Y_{d3} – показатели, характеризующие производительность дозатора высевательного аппарата, погрешность и неравномерность дозирования, включая наличие пульсаций и изменение подачи по мере опорожнения бункера; $Y_{pt1}, Y_{pt2}, Y_{pt3}$ – показатели, характеризующие массовую подачу (производительность) пневмосистемы по материалу, турбулентность материала и запас воздуха, неравномерность массовой подачи и травмирования частиц материала; Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3} – показатели, характеризующие среднюю величину массовой подачи (производительности) по выходящим патрубкам распределителя по материалу, погрешность массовой подачи, неравномерность массовой подачи по патрубкам и травмирования частиц материала; $Y_{pd1}, Y_{pd2}, Y_{pd3}$ – показатели, характеризующие среднюю величину массовой подачи (производительности) по сошникам по материалу, погрешность массовой подачи, неравномерность массовой подачи по сошникам и травмирования частиц материала; Y_{s1}, Y_{s2}, Y_{s3} – показатели, характеризующие среднюю глубину образования бороздки, наличие погрешности глубины и колебаний по глубине и ширине междурядий; Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 – показатели, характеризующие среднюю величину внесения семенного материала и гранул минеральных удобрений, погрешность нормы внесения частиц материала, неравномерность высева (по длине борозды и сошникам), погрешность и неравномерность глубины заделки частиц материала, удельные энергозатраты на технологический процесс посева семенного материала

Работа любого оборудования или машины характеризуется количественными, качественными и энергетическими показателями реализуемого технологического процесса. Основная задача – обеспечение данных показателей в соответствии с агротехническими требованиями.

Возможность работы машинно-тракторного агрегата определяется балансом мощности (и крюкового усилия) трактора и потребляемой энергией (на перекачивание сеялок и сцепки, образование и закрытие борозд, создание воздушного потока, дозирование высеваемого материала). Снижение энергоемкости процесса возможно за счет выбора варианта работы и конструкции с меньшей величиной удельных энергетических затрат (Дж/га) при удовлетворительных показателях производительности агрегата. Для работы агрегата необходимо соответствие трактора и сеялки величине давления и расходу жидкости гидросистемы, частоте вращения ВОМ, ширине захвата агрегата. Количество сеялок в составе посевного агрегата зависит от наличия запаса тягового усилия трактора при соответствии скоростного режима трактора приемлемому значению скорости выполнения технологического процесса сеялок [1]. Превышение скоростного режима агрегатов приведет к возникновению вибраций подвижных элементов сеялок при движении, что существенно повлияет на качественные показатели работы ее сошников [3]. Устранение влияния проскальзывания колес движителя (нарушение нормы высева) у современных сеялок обеспечивается приводом дозаторов высевательного аппарата через редуктор от опорного колеса сеялки [4].

Конечной целью применения посевного агрегата является посев семян растений и внесение необходимого припосевного количества минеральных удобрений в соответствии с агротехническими требованиями [1]. К важным количественным показателям посевного агрегата относятся рабочая ширина захвата и рабочая скорость, производительность за час основного и сменного времени, норма высева семян и удобрений [3].

Возможность высева семян и гранул определяется соответствием их качественных показателей (сорт и вид культуры, всхожесть) потребностям посева, а также соответствием гранулометрических свойств (масса тысячи семян, средний размер частиц, влажность, слеживаемость, текучесть, плотность) показателям работоспособности высевательного аппарата,

пневмосистемы и сошников сеялки [3]. Норма высева посевного материала обеспечивается выставленными значениями конструктивных параметров высевающего аппарата и передаточным отношением его привода. При использовании редуктора привода высевающего аппарата передаточное отношение меняется ступенчато, при применении вариатора – бесступенчато. Для сглаживания шага передаточного отношения и повышения точности настройки используются дополнительные устройства бесступенчатого изменения (различные шибера и задвижки, и т.п.) [4].

Для сеялок с пневматическим высевом параметры пневмосистемы должны обеспечивать напор воздуха (а соответственно и его расход), необходимый для надлежущего скоростного режима движения частиц материала всех фракций, поступающих в пневмосистему. Соответственно, пневматическая система должна настраиваться на конкретное значение подачи частиц материала для экономии затрат мощности, но чаще рассчитывается на максимальную подачу частиц материала. Изменение настроек производится изменением частоты вращения вентилятора, влияющего на создаваемый напор, и, соответственно, на скоростной режим движения воздушно-продуктового потока. Расход воздуха определяется в напорном трубопроводе по соотношению расхода воздуха относительно материала к расходу материала – от 10 до 150 кг/кг, с учетом скоростного режима частиц [13].

Скорость витания является минимальным пределом, определяющим возможность вертикального транспортирования. Для устойчивого перемещения скорость потока должна быть выше скорости витания. Для нормальной транспортировки по вертикальному участку скорость воздуха повышается как минимум двукратно [3, 13].

Если качество заделки семян определяется конструкцией сошников и соответствием их параметров скоростному движению агрегата, то отклонение фактической удельной величины высеваемого материала от нормы высева зависит от настроек дозатора высевающего аппарата. В то же время равномерность семян в рядке определяется взаимодействием параметров высевающего аппарата и пневмосистемы, сглаживающей пульсации подачи материала на эжектор. Равномерность подачи материала по сошникам определяется только конструкцией трубопровода (от эжектора до распределителя) и распределителя с учетом скоростного потока воздушно-продуктовой смеси. Чем выше скорость воздуха, тем меньше застойных зон в трубопроводе и легче транспортируется материал. С другой стороны, скорость воздуха не должна разгонять частицы материала выше 50 м/с из-за возможности их травмирования при прямом ударе о стенку крышки распределителя или на других участках [3, 7]. При этом в зависимости от турбулентности движения воздушно-продуктового потока и направления действия и величины внешних сил концентрация частиц по поперечному сечению трубопровода может существенно изменяться. На горизонтальных участках частицы материала стремятся концентрироваться в нижней части трубопровода, при повороте трубопровода (в колене) – у внешней стенки колена [12].

По указанной причине добиться в горизонтальном распределителе высокой равномерности подачи частиц материала по патрубкам проблематично – силу тяжести на частицы устранить не удастся [12]. Поэтому наибольшее распространение получили распределители вертикального типа, в которых добиться большей равномерности существенно проще. Однако, требуется перенаправлять воздушно-продуктовый поток со смещенной концентрацией частиц от стенок к центру трубопровода. Для этого понадобятся дополнительные элементы конструкции или изменение конфигурации трубопровода, несмотря на потери напора [12, 14].

При использовании распределителя с нижним подводом трубопровода требуется дополнительный напор на подъем частиц, что энергозатратно [7]. Однако имеется при этом и преимущество – частицы оказываются на большей высоте относительно сошников. При движении по наклонным семяпроводам можно снизить скорость воздушного потока, снизив тем самым потери по длине у труб с меньшим сечением. Перепад высот и отсутствие участков с нулевым или отрицательным углом спуска будет способствовать самоопорожнению шлангов от материала.

Учитывая, что шланги начинаются от распределителя и заканчиваются через сошники атмосферой, то получается участок трубопроводов с параллельными ветвями. При этом расход воздушно-продуктового потока через семяпроводы обратно пропорционален сопротивлению воздушного потока. Поэтому неравенство потерь напором в семяпроводах повлияет и на расходы

воздуха, и, соответственно, материалов [15]. Учитывая различную удаленность сошников от распределителя, длина шлангов и потери напора будут различными. Уменьшить потери напора для дальних сошников можно увеличением их сечения. Однако это возможно осуществить только ступенчато. При этом снижается скорость потока сразу во всех семяпроводах, что нежелательно. Другой вариант – установка местных сопротивлений на коротких семяпроводах. Это энергозатратный вариант, но без него невозможно обеспечение равенства напоров всех семяпроводов. В какой-то мере можно компенсировать неравномерность расхода материала через сошники установкой воронкообразных (с разным углом конусности) патрубков распределителя. Увеличение диаметра входа в патрубок шланга увеличивает вероятность поступления частиц материала, что способствует выравниванию расхода материала по сошникам.

Заключение. Анализ конструктивно-технологической схемы посевного агрегата с пневматическим высевом, условий его работы, гранулометрического состава и физико-механических свойств посевного материала и удобрений позволил определить основы для разработки структурной схемы функционирования посевного агрегата с пневматическим высевом, позволяющей выявить основные направления улучшения количественных, качественных и энергетических показателей посевного агрегата, а также пути и способы устранения основных его недостатков.

Точность высева семян определяется настройкой высевающего аппарата на заданную норму высева с учетом проскальзывания приводных колес сеялки. Улучшение равномерности высева по рядкам возможно за счет совершенствования конструкции распределителя с трубопроводом (от эжектора до распределителя), снижения пульсации мгновенной подачи высеваемого материала из высевающего аппарата и частичного сглаживания при движении частиц материала в пневмосистеме сеялки. Снижение травмирования семян возможно за счет улучшения конструкции высевающего аппарата, снижения скоростного режима движения воздушно-продуктового потока, совершенствования конструкции пневмосистемы в части предотвращения лобовых ударов частиц о стенки. Улучшение равномерности заделки семян в рядке определяется конструкцией сошниковой группы и ее соответствием скоростному режиму движения сеялки при соблюдении допустимых значений скорости выхода воздуха из сошника.

Библиографический список

1. Петров, А. М. Разработка универсальной пневматической сеялки для зерновых, мелкосемянных и трудновысеваемых культур / А. М. Петров, Н. П. Крючин // Известия Самарской ГСХА. – 2014. – № 3. – С. 3-7.
2. Ларюшин, Н. П. Результаты лабораторных исследований сошника с подпружиненным распределителем и копирующим устройством дна борозды / Н. П. Ларюшин, А. В. Мачнев // Научное обозрение. – 2015. – № 17. – С. 33-39.
3. Крючин, Н. П. Повышение эффективности распределительно-транспортирующих систем пневматических посевных машин : монография. – Самара : РИЦ СГСХА, 2008. – 176 с.
4. Мачнев, А. В. Результаты лабораторных исследований высевающего аппарата с несимметричным профилем желобков катушки / А. В. Мачнев, В. А. Мачнев, П. Н. Хорев, А. Н. Хорев // Нива Поволжья. – 2014. – № 2 (31). – С. 76-84.
5. Мачнева, О. Ю. Исследование взаимодействия семян с распределяющим и отражающим устройствами / О. Ю. Мачнева, В. С. Каблуков, О. Н. Кухарев [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2018. – № 4 (40). – С. 111-117.
6. Yatskul, A. Influence of the divider head functioning conditions and geometry on the seeds distribution accuracy of the air-seeder / A. Yatskul, J. P. Lemièrè, F. Cointault // Biosystems Engineering. – 2017. – №161. – P. 120-134. – DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.06.015.
7. Рахимов, З. С. Обоснование параметров пневматической системы транспортирования семян и удобрений почвообрабатывающего посевного агрегата / З. С. Рахимов, Н. Т. Хлызов, И. Р. Рахимов [и др.] // АПК России. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 91-104.
8. Yatskul, A. Establishing the conveying parameters required for the air-seeders / A. Yatskul, J. P. Lemièrè // Biosystems Engineering. – 2018. – №166. – P. 1-12. – DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.11.0015.
9. Змиевский, В. Т. Влияние различий в высеве отдельными аппаратами на урожайность / В. Т. Змиевский, Н. Н. Домина, Л. Б. Казаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 5. – С. 40-41.
10. Yatskul, A. Comparative energy study of the air-stream loading systems of air-seeders / A. Yatskul, J. P. Lemièrè, F. Cointault // Engineering in Agriculture, Environment and Food. – 2018. – №11. – P. 30-37. – DOI: 10.1016/j.eaef.2017.09.003.

11. McKay, M. E. Performance characteristics of pneumatic drills: transverse distribution. – Parkville : University of Melbourne, 1979. – Retrieved from <https://trove.nla.gov.au/work/21209973?q&versionId=25298581>.
12. Пятаев, М. В. Моделирование параметров турбулизатора пневматического распределителя семян / М. В. Пятаев // Вестник Челябинской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – Т. 65. – С. 50-55.
13. Мударисов, С. Г. Обоснование параметров двухфазного течения «воздух-семена» при математическом описании работы пневматической системы зерновой сеялки / С. Г. Мударисов, З. С. Рахимов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4. – С. 85-91.
14. Кравцов, А. В. Моделирование скоростного режима движения аэропродуктового потока с параллельно-последовательными участками / А. В. Кравцов, В. В. Коновалов, В. Ю. Зайцев, М. В. Донцова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 75-83.
15. Завражнов, А. И. Теоретический анализ распределительной системы пневмотранспорта на примере сеялок для внесения семян и удобрений / А. И. Завражнов, В. В. Коновалов, В. Ю. Зайцев [и др.] // Наука в центральной России. – 2019. – № 3 (39). – С. 5-14.

References

1. Petrov, A. M., & Kryuchin N. P. (2014). Razrabotka universalnoi pnevmaticheskoi seialki dlia zernovikh, melkosemiannikh i trudno visevaemikh kultur [Development of a universal pneumatic seeder for grain, small-seeded and hard-to-sow crops]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 3, 3-7 [in Russian].
2. Laryushin, N. P., & Machnev A. V. (2015). Rezultat laboratornikh issledovaniy soshnika s podpruzhinennim raspredelitelem i kopiruiushchim ustroystvom dna borozdi [Results of laboratory researches of a Coulter with the spring-loaded distributor and the copying device of a bottom of a furrow]. *Nauchnoe obozrenie – Scientific Review*, 17, 33-39 [in Russian].
3. Kryuchin, N. P. (2008). *Povisheniie effektivnosti raspredelitelino-transportiruiushchikh sistem pnevmaticheskikh posevnikh mashin [Improving the efficiency of distribution and transportation systems of pneumatic sowing machines]*. Samara: PC Samara SAA [in Russian].
4. Machnev, A. V., Machnev, V. A., Horev, P. N., & Horev, A. N. (2014). Rezultat laboratornikh issledovaniy visevaiushchego apparata s nesimmetrichnim profilom zhelobkov katushki [Results of laboratory researches of the sowing device with an asymmetric profile of grooves of a coil]. *Niva Povolzhia – Niva Povolzhya*, 2 (31), 76-84 [in Russian].
5. Machneva, O. Yu., Kablukov, V. S., Kukharev, O. N., Machnev, A. V., & Machnev V. A. (2018). Issledovanie vzaimodeistviia semian s raspredel'aiushchim i otrazhaiushchim ustroystvami [Research of interaction of seeds with distributing and reflecting devices]. *Vestnik Riazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta. P. A. Kostycheva – Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostycheva*, 4 (40), 111-117 [in Russian].
6. Yatskul, A., Lemièrè, J. P., & Cointault, F. (2017). Influence of the divider head functioning conditions and geometry on the seeds distribution accuracy of the air-seeder. *Biosystems Engineering*, 161, 120-134. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.06.015
7. Rakhimov, Z. S., Khlyzov, N. T., Rakhimov, I. R., Sidorchenko, D. V., & Galimov A. N. (2017). Obosnovaniie parametrov pnevmaticheskoi sistem i transportirovaniia semian i udobrenii pochvoob-rabativaiushchego posevnogo agregata [Substantiation of parameters of pneumatic system of transportation of seeds and fertilizers of soil-cultivating sowing unit]. *APK Rossii – Agro-industrial complex of Russia*, 24, 1, 91-104 [in Russian].
8. Yatskul, A., & Lemièrè, J. P. (2018). Establishing the conveying parameters required for the air-seeders. *Biosystems Engineering*, 166, 1-12. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.11.0015.
9. Zmievsky, V. T., Domina, N. N., & Kazakov, L. B. (1985). Vliyaniiè razlichii v viseve otdelinimi apparatami na urozhajnost [Influence of differences in seeding by separate devices on productivity]. *Mekhanizatsiia i elektrifikatsiia sel'skogo hoziaistva – Mechanization and electrification of agriculture*, 5, 40-41 [in Russian].
10. Yatskul, A., Lemièrè, J. P., & Cointault, F. (2018). Comparative energy study of the air-stream loading systems of air-seeders. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11, 30-37. DOI: 10.1016/j.eaef.2017.09.003.
11. McKay, E. M. (1979). *Performance characteristics of pneumatic drills: transverse distribution*. Parkville: University of Melbourne, Dept. of Civil Engineering. Retrieved from <https://trove.nla.gov.au/-work/21209973?q&versionId=25298581>.
12. Pyataev, M. V. (2013). Modelirovaniie parametrov turbulizatora pnevmaticheskogo raspredelitel'ia semian [Modeling of parameters of turbuliser of pneumatic seed distributor]. *Vestnik Cheliabinskoi GAA – Bulletin of the Chelyabinsk SAA*, 65, 50-55 [in Russian].

13. Mudarisov, S. G., & Rakhimov, Z. S. (2014). Obosnovaniie parametrov dvuhfaznogo techeniia «vozdukh-semena» pri matematicheskom opisaniu raboti pnevmaticheskoi sistemi zernovoi seialki [Substantiation of the parameters of the two-phase flow «air-seeds» in the mathematical description of the pneumatic system of grain seeder]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Vestnik Bashkir State Agrarian University*, 4, 85-91 [in Russian].
14. Kravtsov, A. V., Konovalov, V. V., Zaitsev, V. Yu., & Dontsova, M. V. (2019). Modelirovaniie skorostnogo rezhima dvizheniia aeroproduktovogo potoka s parallelino-posledovatel'nimi uchastkami [Modeling of high-speed mode of air product flow with parallel-sequential sections]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 2, 75-83 [in Russian].
15. Zavrazhnov A. I., Konovalov V. V., Zaitsev V. Yu., Kravtsov A. V., & Rodionov Yu. V. (2019). Teoreticheskii analiz raspredelitel'noi sistemi pnevmo transporta na primere seialok dlia vneseniia semian i udobrenii [Theoretical analysis of the distribution system of pneumatic transport on the example of seeders for applying seeds and fertilizers]. *Nauka v centralnoi Rossii – Science in the central Russia*, 3 (39), 5-14 [in Russian].