

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒЫЛЫМДАРЫ

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы (пәнаралық) =Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина (междисциплинарный). – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2024. -№ 2 (121). - Б.4-22. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/ 10.51452/kazatu.2024.2(121).1701

УДК 631.331.5:630*232(045)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ВЫСЕВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ШИРОКОЗАХВАТНОЙ СЕЯЛКИ

Адуов Мубарак Адуович

Доктор технических наук, профессор

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина

г. Астана, Казахстан

E-mail: aduov50@mail.ru

Нукушева Сауле Абайдильдиновна

Кандидат технических наук

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина

г. Астана, Казахстан

E-mail: nukusheva60@mail.ru

Володя Кадирбек

Докторант

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина

г. Астана, Казахстан

E-mail: vkadirbek@list.ru

Исенов Казбек Галымтаевич

PhD

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина

г. Астана, Казахстан

E-mail: isenov-kz@mail.ru

Каспаков Есен Жаксылыкович

Кандидат технических наук, доцент

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина

г. Астана, Казахстан

E-mail: kaspakove@mail.ru

Мустафин Жасулан Жарылкаганович

Кандидат технических наук

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина

г. Астана, Казахстан

E-mail: mustafin_j80@mail.ru

Аннотация

На урожайность и качество сельскохозяйственных культур влияет огромное количество факторов. Одним из которых является процесс высева, качественное выполнение которого напрямую влияет на будущий урожай. Учитывая климатические особенности и большие

площади посевов Северного Казахстана, качественный и своевременный посев обеспечивают широкозахватные высокопроизводительные пневматические сеялки, которые адаптированы к почвенно-климатическим, организационным и экономическим условиям региона. В связи с чем существует необходимость создания научно обоснованной, высокопроизводительной и адаптированной к определенным почвенно-климатическим условиям Северного Казахстана высокотехнологичной, широкозахватной, пневматической сеялки для посева зерновых культур, обеспечивающей высокое качество посева. Одним из важнейших элементов такой машины является центральная пневматическая высевальная система.

Произведенный обзор и анализ исследований, посвященных центральным пневматическим системам показал, что они проводились в основном по отдельным узлам, а суть нашей работы состоит в комплексном теоретическом и лабораторном исследовании всех составных частей центральной пневматической системы.

Для теоретического изучения перемещения семян и туков минеральных удобрений от семя туковысевающего аппарата до сошников использовались законы механики двухфазных течений. А для лабораторных исследований был построен стенд с центральной пневматической высевальной системой, на котором по общепринятой методике согласно ГОСТам определялись технологические параметры разработанной пневматической централизованной высевальной системы.

Произведенные теоретические исследования позволили увидеть общую картину взаимосвязей между конструктивными параметрами всех узлов и технологическими параметрами сеялки, а по результатам лабораторных опытов установлена, что разработанная центральная пневматическая высевальная система по качественным показателям не уступает зарубежным аналогам.

Ключевые слова: пневматическая высевальная система; секундная производительность; норма посева; высевальной аппарат; катушка; воздушный поток.

Введение

Сельское хозяйство Казахстана является одним из главных отраслей в экономике нашей страны, с огромными посевными площадями более чем 24,1 млн га [1]. При таких площадях для получения качественного урожая необходимо качественное и своевременное выполнение полевых работ, учитывая при этом природные факторы. Однако, на сегодняшний день для всех аграриев страны серьезной проблемой стала изношенность машинно-тракторного парка, которая на данный момент достигла 80%. Поэтому в своем Послании народу Казахстана Глава государства Касым-Жомарт Токаев отметил важность темпа обновления сельскохозяйственной техники и учитывая интересы аграриев и отечественных производителей техники довести ее до 8-10% в год.

Необходимо отметить, что важную роль в составе машинно-тракторного парка играют посевные машины, которые напрямую влияют на качество и количество будущего урожая. На сегодняшний день используемые фермерами отечественные и зарубежные посевные машины отработали свой эксплуатационный срок службы, а та небольшая часть обновленных машин не в полной мере отвечает агротехническим требованиям, предъявляемым в регионах использования.

На сегодняшний день в НАО "Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина" на кафедре «Аграрная техника и технология» под руководством профессора Адуова М. А. разработаны ряд сеялок для нулевых и минимальных технологий, конкурентоспособных зарубежным аналогам [2, 3]. Они просты в конструкции, универсальны, адаптированы к условиям Северного Казахстана и еще агрегируются с широким классом тракторов от 1,4 т.с. до 8,0 т.с. [4, 5].

На основании вышеизложенного, всестороннее изучение и создание отечественной посевной машины с пневматической централизованной высевальной системой, отвечающей всем современным агротехническим требованиям к посеву актуальна.

Материалы и методы

В предложенной работе конструктивные параметры определялись в ходе теоретических исследований всех узлов центральной пневматической системы, проведенные в лаборатории

кафедры «Аграрная техника и технология». Перед началом лабораторных испытаний была разработана программа и методика, подготовлено место испытаний, необходимые средства измерений и оборудования, определены условия экспериментов.

В ходе экспериментальных испытаний использовались общепринятые методики по ГОСТам [6, 7]. Был изготовлен лабораторный стенд, на котором экспериментальным путем определялась взаимосвязь между конструктивно-технологическими параметрами высевающего аппарата и ее качественными показателями.

При проведении лабораторных испытаний определялись и оценивались следующие параметры: регулировочные возможности сеялки - изменение нормы высева семян и удобрений; соответствие расчетных данных с фактическими; равномерность распределения высеваемого материала по отдельным семяпроводам и ее расход; изменение перечисленных показателей в зависимости от степени выполнения определенного объема работ. Для проведения опытов были использованы семена пшеницы, овса, ячменя и 30% аммофос.

Результаты

Анализируя конструкции пневматических высевающих систем существующих посевных комплексов отечественного и зарубежного производства, Астахов В.С. [8, 9] делит их на четыре принципиальные схемы: централизованные одно- и двухступенчатые, индивидуального и группового дозирования. Анализируя принцип работы данных пневматических высевающих систем, установлено, что:

- пневматические системы централизованного дозирования с двухступенчатым распределением, состоящие из вертикального и горизонтального распределителей излишне материалоемкие и энергоемкие, а также имеют высокую повреждаемость семян;
- одноступенчатые системы централизованного дозирования с распределителями вертикального типа возможно использовать лишь для сеялок с шириной захвата до 6 м, для сеялок с шириной захвата 12... 16 м данная система не применяется;
- пневмосистемы индивидуального дозирования имеют повышенную энергоемкость и обладают схожими недостатками;
- применение одноступенчатых систем группового дозирования с распределительными вертикального и горизонтального типа является наиболее оптимальным.

Однако, использование посевных комплексов с пневматической высевающей системой в сельскохозяйственном производстве во многом зависит от конструкции распределителей [10]. Несмотря на простоту конструкции распределительного устройства, к нему предъявляют высокие агротехнические требования. Одним из таких требований является равномерность распределения посевного материала по полю [11, 12]. Поэтому разрабатываемая пневматическая централизованная высевающая система (ПЦВС) должна обладать высевом с высокой равномерностью и устойчивостью, низкой повреждаемостью семян и материалоемкостью с невысокими эксплуатационными издержками. На рисунке 1 и 2 представлены конструктивно-технологические схемы разрабатываемой центральной высевающей системы в двух вариантах: внесение семян и удобрений в один горизонт и раздельное внесение семян и удобрений в разные по глубине слои почвы.

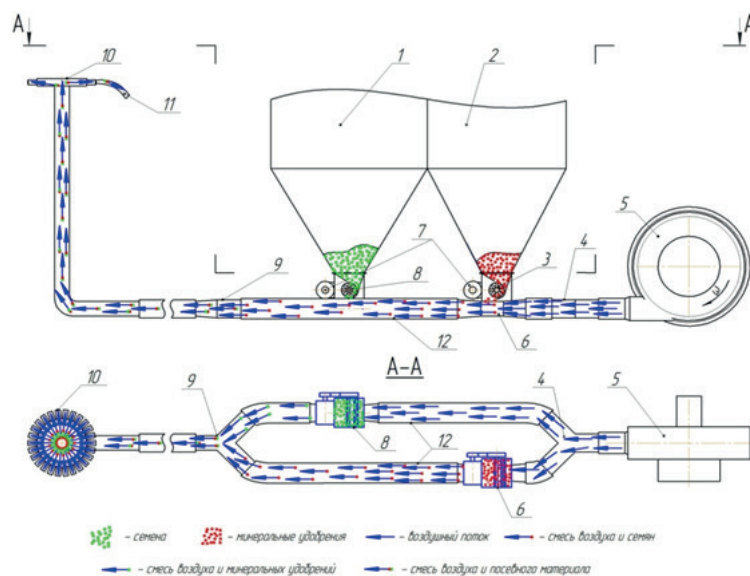


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема пневматической высеивающей системы с внесением семян и удобрений в один горизонт

- 1 – бункер для семян; 2 – бункер для минеральных удобрений; 3 – туковывсеивающий аппарат; 4 – делитель воздушного потока; 5 – вентилятор; 6 – инжектор; 7 – электромотор; 8 – семявысеивающий аппарат; 9 – диффузор; 10 – распределительная головка; 11 – семяпровод; 12 – материалопроводы

В разработанной пневматической высеивающей системе технологический процесс происходит следующим образом. Вентилятор создает воздушный поток, который направляется пневмопроводом и делителем потока в инжекторную камеру для транспортировки семян и туков, подаваемых семятуковывсеивающими аппаратами, через материалопровод и конфузор до распределительной головки. В распределительной головке семена и туки минеральных удобрений распределяются по семятуковпроводам.

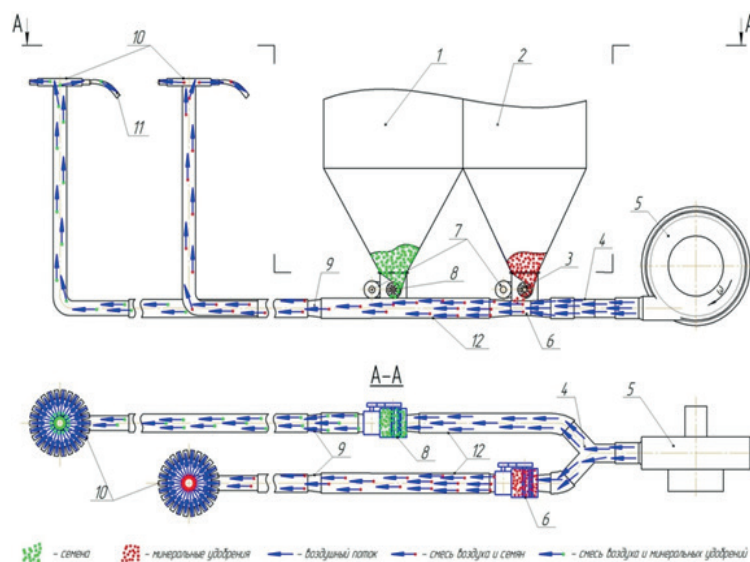


Рисунок 2 – Схема работы центральной высеивающей системы с разделным внесением семян и удобрений в разные по глубине слои почвы

- 1 – бункер для семян; 2 – бункер для минеральных удобрений; 3 – туковывсеивающий аппарат; 4 – делитель воздушного потока; 5 – вентилятор; 6 – инжектор; 7 – электромотор; 8 – семявысеивающий аппарат; 9 – диффузор; 10 – распределительные головки; 11 – семяпровод; 12 – материалопроводы

При раздельном внесении семян и минеральные удобрения не смешиваются и транспортируются отдельными материалопроводами к отдельным распределительным головкам, далее заделываются в почву одним рабочим органом в разные слои почвы.

При расчете конструктивных и технологических параметров разрабатываемой центральной высевальной системы нам необходимо знать пропускаемое количество семян и гранул минеральных удобрений за определенный период времени, при этом норма высева семян и внесения удобрений должна задаваться в зависимости от конструктивной ширины захвата сеялки.

При установке требуемой нормы высева необходимо обеспечить нужную секундную производительность высевального аппарата, которая происходит путем высевания определенного количества семян в единицу времени.

Количество семян, которая высевает машина с шириной захвата (B) и рабочей скоростью (v), с заданной нормой высева семян и минеральных удобрений Q_M в единицу времени определяется из выражения [13]:

$$q = 10^{-4} \cdot (Q_N + Q_M) \cdot B \cdot v \quad (1)$$

Норма высева зерновых культур в зависимости от почвенно-климатических условий изменяется в пределах от 60 до 250 кг/га, а норма высева удобрений в зависимости от состояния плодородия почвы меняется от 50 до 200 кг/га. В расчетах по определению секундной производительности разрабатываемой центральной высевальной системы необходимо оперировать суммой нормы внесения удобрений и высева семян.

Ширина захвата современных посевных комплексов составляют 6, 8, 10, 12 и 14 м. Рекомендуемая рабочая скорость движения при посеве в пределах 2,2 ... 2,78 м/с.

Подставляя значения в формулу (1), находим значения секундной производительности $q=f(B)$ и $q=f(Q_N+Q_M)$ и строим графики при разных скоростях движения.

Зависимости секундной производительности сеялки с ЦВС от ее ширины захвата ($q=f(B)$ и $q=f(Q_N+Q_M)$) были получены из выражения (1) задавая значения рабочей скорости, норм высева и внесения минеральных удобрений и ширины захвата при различных нормах высева (рисунки 3 и 4). Полученные зависимости будут использованы в качестве исходных данных при проектировании высевального аппарата.

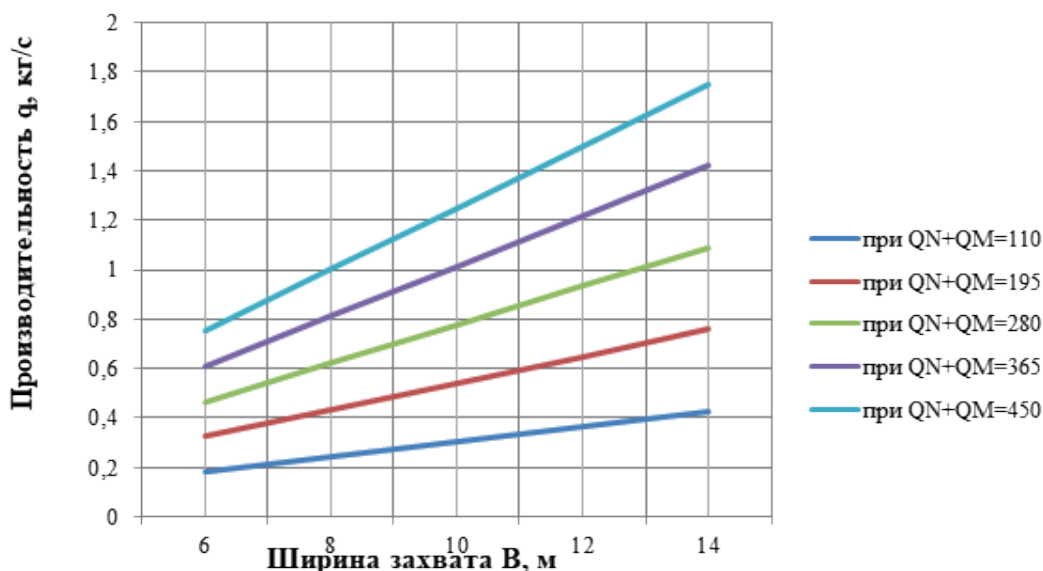


Рисунок 3 – Зависимости секундной производительности сеялки с ЦВС от ее ширины захвата при различных нормах высева

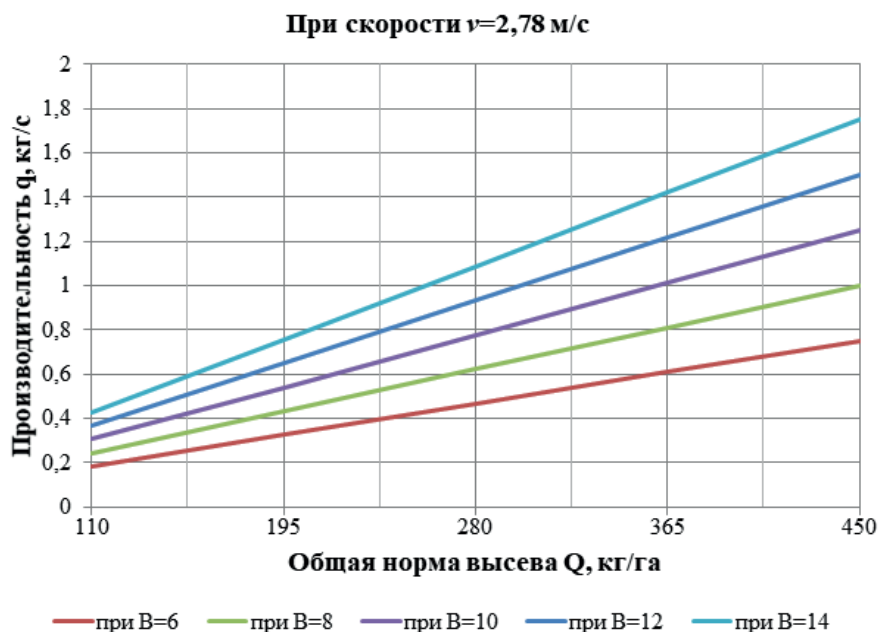


Рисунок 4 – Зависимости секундной производительности сеялки с ЦВС от нормы высева при различной ширине захвата

Одним из важных составляющих центральной пневматической высевающей системы является высевающий аппарат, который должен выполнять следующие функции: создавать равномерный и непрерывный поток семян; независимо от рабочей скорости, полноты бункера и ее колебаний при работе, наклона поля обеспечивать устойчивый высев не отклоняясь от установленной нормы высева; не травмировать семена; быть простым и универсальным по конструкции; легким и удобным при регулировке нормы высева. Анализируя литературные данные [8, 12] установлено, что среди рассмотренных принципиальных схем наибольшее распространение получили широкозахватные сеялки с пневматической системой общего дозирования, катушечным высевающим аппаратами и ступенчатым распределением семян по семяпроводам. Недостатком данного центрального высевающего аппарата является высокая неустойчивость высева (более 2%), травмирование семян, а также снижение нормы высева на 13-35,8% при увеличении скорости движения сеялки в 2 раза [14].

Для устранения указанных недостатков нами разрабатывается катушечный желобчатый высевающий аппарат с уточненными конструктивными параметрами.

Объем семян, который высеивает катушка за один оборот называется рабочим объемом высевающего аппарата и находится из выражения [15, 16]:

$$V=(k_3 S_{ж} z_{ж} + \pi d_k h_{п}) l_k \rho, \quad (2)$$

где k_3 – коэффициент заполнения желобков, 0,7...0,9;

$S_{ж}$ – площадь сечения желобка;

$z_{ж}$ – число желобков, 8-12;

d_k – диаметр катушки;

$h_{п}$ – толщина активного слоя;

l_k – рабочая длина катушки;

ρ – плотность семян.

Тогда производительность катушечного аппарата определится из формулы

$$q=(k_3 S_{ж} z_{ж} + \pi d_k h_{п}) l_k \rho \omega, \quad (3)$$

где ω – угловая скорость катушки, с-1.

Используя формулы (1) и (3), получаем выражение, которое связывает конструктивные параметры катушечного высевающего аппарата с конструктивными и технологическими параметрами сеялки

$$l_k = \frac{10^{-4}(Q_N+Q_M) \cdot B \cdot v}{(k_3 S_{жзж} + \pi d_k h_{п}) \rho \omega} \quad (4)$$

Из литературных данных известно, что катушки с диаметром $d_k = 50,5 - 100$ мм выдают оптимальные параметры [14]. Количество желобков и ее площадь сечения зависят от формы профиля желобков. Приняв толщину перемычки между соседними желобками $\Delta b = 1-1,5$ мм (размер технологический) [14], находим ее центральный угол:

$$\Delta \varphi = 2 \Delta b / d_k \quad (5)$$

Учитывая ширину перемычки и ширину желобка b , находим центральный угол φ_0 .

$$\varphi_0 = 2 \arcsin[b/(2R)] + \Delta \varphi \quad (6)$$

Из рекомендуемых параметров принимаем $d_k = 100$ мм, а $\Delta b = 1,5$ мм, находим $\Delta \varphi$.
Необходимое количество желобков находим из выражения

$$z = 2\pi / (\varphi_1 + \Delta \varphi) \quad (7)$$

Длина катушки

$$L_k = V_0 / f_0 = V_0 / (f'_{жк} + f_{ак}), \quad (8)$$

Ширина желобка определяется:

$$b = d \sin(2\pi / z) - \Delta b \quad (9)$$

Приняв число желобков равным 12 и длину катушки $L = 164$ мм, получим ширину желобка. Таким образом определили все необходимые конструктивные параметры проектируемого центрального высевающего аппарата. На рисунке 5 представлены теоретические зависимости секундной производительности проектируемого центрального высевающего аппарата от частоты вращения катушки при высеве семян зерновых культур по выражению (8). Как видим из графиков, при увеличении частоты вращения катушки прямолинейно увеличивается и секундная производительность высевающего аппарата. Используя формулы (1) и (8), а также рисунок 5 определяем диапазон частоты вращения катушки, при котором обеспечивается необходимая норма высева семян для выбранной ширины захвата посевной машины и рабочей скорости движения агрегата.

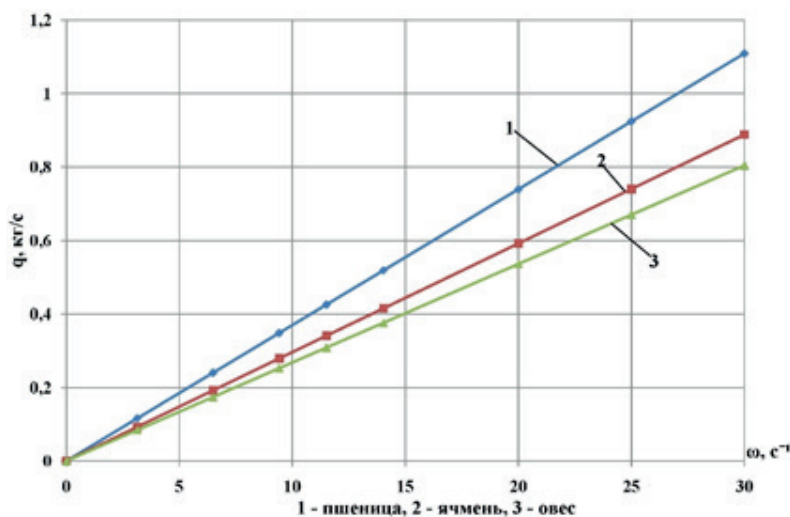


Рисунок 5 – Зависимости секундной производительности проектируемого центрального высевающего аппарата от частоты вращения катушки

При транспортировании по центральной высевающей системе: 1 - это семена, 2 - это минеральные удобрения, подчиненные законам движения двухфазных течений, имеющие неравномерный характер движения, и происходит взаимовлияние многих факторов на физический процесс.

Основная из них, это сила гидродинамического сопротивления в межфазное взаимодействие, также форма, шероховатость частиц, стесненность потока, сила тяжести и перемещение их при влиянии подъемной силы. Частицы двигаются с разными скоростями, и происходит между ними столкновение. Все движение частиц осложняется турбулентностью, приобретающей вероятностный характер.

Тогда как, на несущий поток сила гидродинамического сопротивления оказывает тормозящее или ускоряющее обратное воздействие, из-за разности скоростей воздуха и частицы.

Тогда, гидродинамическая сила сопротивления будет равно выражению [17]:

$$F_D = 0,5 f_D \rho_g S_m |v_g - v_p| (v_g - v_p), \quad (10)$$

где S_m – площадь миделева сечения частицы, м²,

f_D – коэффициент сопротивления,

ρ_g – плотность газа, кг/м³,

v_g – скорость газа, м/с,

v_p – скорость частицы, м/с.

Для двухфазных сред, в зависимости от числа Рейнольдса Re ($f_D = f(Re)$), коэффициент сопротивления частицы f_D определяется согласно кривой Рэлея в [17].

С целью теоретического доказательства составляющих пневматической системы сеялки, нужно процесс взаимодействия механически представить как сплошную среду и рассматривать поток «газ – твердые частицы» как разнородное двухфазное течение и определить по объемной концентрации α_c и числу Стокса S_k [18]. А интенсивность межфазных взаимодействий воздуха и частицы зависит от их объема концентрации α_c и числу Стокса S_k .

Необходимо учесть, воздействие частиц на течение газа не учитывается при объемной концентрации твердых частиц $\alpha_c \leq 10^{-6}$, при этом характер движения частиц определяет газ. Однако, частицы начинают оказывать обратное воздействие на газ при $110^{-6} < \alpha_c \leq 10^{-3}$, с увеличением концентрации до $\alpha_c > 10^{-3}$ добавляется взаимодействие частиц между собой.

В пневмосистеме сеялки объемная концентрация семян α_c определяется по формуле:

$$\alpha_c = \frac{W_p}{W_g}, \quad (11)$$

где W_p – объем семян в элементарном объеме воздуха за единицу времени, м³/с;
 W_g – элементарный объем воздуха, поступающий в рассматриваемую область за единицу времени, м³/с.

Для определения объема семян W_p воспользуемся следующей формулой

$$W_p = \frac{B_p * V_c * Q}{10000 * \rho_z}, \quad (12)$$

где B_p - ширина захвата сеялки, м;
 V_c - рабочая скорость сеялки, м/с;
 Q - норма высева семян, кг/га;
 ρ_z - плотность зерна (кг/м³).

Объем семян на семяпроводах сошников определим как

$$W_{pc} = \frac{W_p}{n_c}, \quad (13)$$

Рассмотрим и проанализируем движение воздушного потока и семян в пневматической системе с одноступенчатой схемой распределения (рисунок 6).

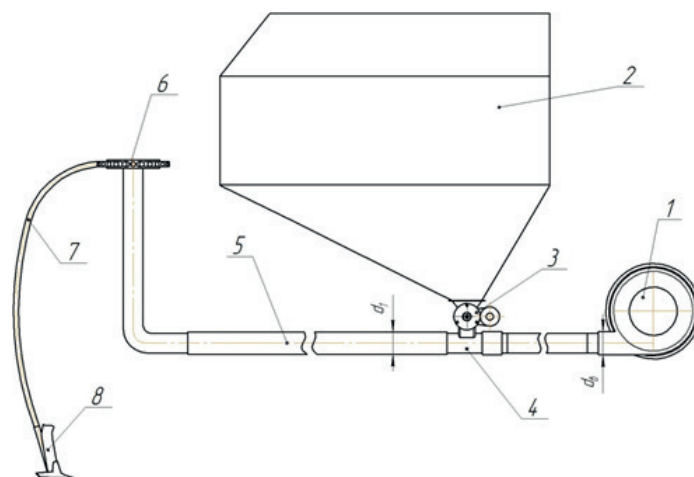


Рисунок 6 – Технологическая схема исследуемой центральной высевной системы
 1-вентилятор; 2 – семенной ящик; 3 – высевной аппарат; 4 – инжектор; 5 – пневмопровод;
 6 – распределительная головка; 7 – семяпровод; 8 - сошник

Из выходного отверстия вентилятора с диаметром d_v воздушный поток поступает и попадает в пневмопровод с диаметром d_1 . Далее воздушный поток в распределителе 6 распределяется в n семяпроводов, движущихся к сошникам.

В данном случае для неразрывности или постоянства расходов воздуха воспользуемся уравнением, применимое к любому сечению трубы [18]. В данном случае это будет сумма площадей сечения труб, отведенных от нашего распределителя. Выходящий из вентилятора объем воздуха будем вычислять по формуле:

$$W_g = u_v * S_v = 0,25 u_v * \pi d_v^2, \quad (14)$$

где u_v – скорость воздушного потока на выходе из вентилятора;
 S_v и d_v – площадь и диаметр выходного отверстия вентилятора.

Так как семена распределились по сошникам, важно определить количество объемной концентрации семян на каждом из них. Протекающий по конкретному семяпроводу как объем семян, так и объем воздуха меняется. Объем воздуха, проходящий через семяпровод I ступени равен объему воздуха, выходящего из вентилятора, т.е.

$$W_{gl} = W_g \quad (15)$$

Тогда выражение баланса расхода воздуха можно записать в виде:

$$W_g = W_{gl} = W_{gc} n_c \quad (16)$$

Учитывая скорость движения воздуха на каждом участке пневматической системы, а также принимая во внимание диаметр проходного сечения семяпроводов, получим выражение:

$$u_g d_g^2 = u_l d_l^2 = u_c d_c^2 n_c \quad (17)$$

Из выражения видно, семена меняют свою скорость на границах перехода в зависимости от диаметров семяпроводов разных ступеней и от количества выходов из распределителя, в этот момент и происходит изменение скоростей воздушного потока

Если транспортирование зерна по семяпроводам устойчивое, без забивания, то скорость потока воздуха будет минимальной, только места вертикального подъема в пневмосистеме сеялок будут критическими.

Согласно ссылке [18], рабочую скорость воздуха в вертикальных трубах рекомендуется определять как:

$$v_g = k_s (10,5 + 0,57 v_{kp}), \quad (18)$$

где v_{kp} – критическая скорость семян, м/с;
 k_s – коэффициент запаса, принятая как 1,2.

Важным показателем подаваемого за единицу времени в пневматическую систему посевной машины двухфазного потока «воздух-семенной материал» является массовая концентрация смеси α_M , которая определяется как соотношение между количеством семенного материала q_p (кг/с) и количеством воздуха q_g (кг/с):

$$\alpha_M = \frac{q_p}{q_g}, \quad (19)$$

или через объемную концентрацию:

$$\alpha_M = \alpha_c * \frac{\rho_p}{\rho_g}, \quad (20)$$

где ρ_p и ρ_g -плотности семенного материала и воздуха [15].

Для семян различных культур предлагаем рассчитывать необходимую рабочую скорость воздуха согласно таблице 1.

Таблица 1 – Рабочие скорости воздуха для семян различных культур

Культура	v_{kpmi} м/с	v_{kpmax} м/с	Средняя критическая скорость, м/с	Рабочая скорость воздуха, м/с
Пшеница	8,9	11,5	10,2	19,8
Ячмень	8,4	10,8	9,6	19,4

Продолжение таблицы 1

Овес	8,1	9,1	8,6	18,7
Минеральные удобрения	3,7	11	7,4	17,9

Из таблицы видно, что средняя критическая скорость растет от 7,4 м/с (минеральные удобрения) до 10,2 м/с (пшеница), при этом рабочая скорость воздуха в вертикальных трубах находится в пределах 17,9-19,8 м/с.

Поэтому для дальнейших расчетов нашей высевальной системы принимаем рабочую скорость воздуха 20 м/с.

Приняв норму высева семян $Q=120$ кг/га и рабочую скорость $V_c=2,78$ м/с, находим объемную концентрацию семян α_c используя формулы (11), (12) ... (20) при разной ширине захвата (таблицы 2-3).

Таблица 2 – Конструктивно-технологические параметры пневматических систем одноступенчатого типа при различной ширине захвата сеялок

Ширина захвата, м	Ширина междурядья, см	Количество сошников, шт	Скорость воздуха в семяпроводе сошника, м/с	Скорость воздуха на выходе из вентилятора, м/с	Объем воздуха из вентилятора, м ³	Изменение скорости	Объемная концентрация
B_p	b	n_c	u_c	u_a	W_g	u_c/u_1	α_c
6,0	22,8	26	10,4	12,3	0,217	0,84	0,0006
6,5	22,8	28	9,68	12,3	0,217	0,78	0,00064
7,0	22,8	30	9,04	12,3	0,217	0,69	0,00069
7,5	22,8	32	8,48	12,3	0,217	0,69	0,00074
8,0	22,8	35	7,75	12,3	0,217	0,63	0,00078

Анализ таблицы 2 показывает, что увеличение ширины захвата, соответственно количество семяпроводов, приводит к падению скорости воздуха в семяпроводах. Так при ширине захвата сеялки $B_p=6,0$ м скорость воздуха в семяпроводах составляет $u_c=10,4$ м, а при $B_p=8,0$ м соответственно $u_c=7,75$ м.

Таблица 3 – Параметры ЦВС сеялки при ширине захвата 6,0 м и различных нормах высева семян

Норма высева семян кг/га	Скорость агрегата, м/с	Скорость воздуха в семяпроводе сошника, м/с	Скорость воздуха в основном семяпроводе, м/с	Скорость воздуха на выходе из вентилятора, м/с	Объем воздуха из вентилятора, м ³	Изменение скорости	Объемная концентрация
Q	V_c	u_c	u_1	u_a	W_g	u_c/u_1	α_c
100	2,78	10,4	12,3	12,3	0,217	0,84	0,0005
120	2,78	10,4	12,3	12,3	0,217	0,84	0,0006
140	2,78	10,4	12,3	12,3	0,217	0,84	0,0007
160	2,78	10,4	12,3	12,3	0,217	0,84	0,0008
180	2,78	10,4	12,3	12,3	0,217	0,84	0,0009
200	2,78	10,4	12,3	12,3	0,217	0,84	0,001

Из таблицы 3 видно, что увеличение нормы высева от 100кг/га до 200кг/га при одинаковой скорости движения приводит к увеличению объемной концентрации 0,0005 до 0,001.

Таким образом, теоретическими исследованиями были определены необходимые конструктивные и технологические параметры, и изготовлена центральная пневматическая высевающая система. Стендовые испытания проводились на высеве пшеницы сорта «Шортандинская 95 улучшенная», ячменя сорта «Сабир» и минерального удобрения «Аммофос». Определялись производительность высевающего аппарата, неустойчивость общего высева и неравномерность высева между семяпроводами.

После обработки результатов были получены зависимости производительности высевающего аппарата от частоты ее вращения (рисунок 7).

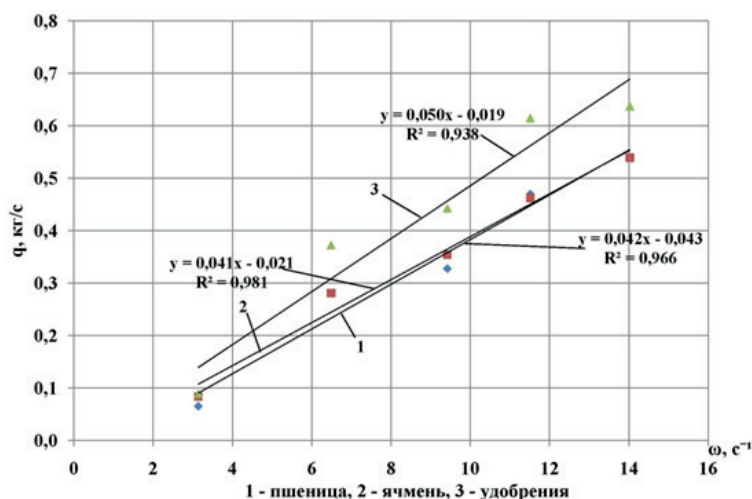


Рисунок 7 – Зависимость производительности от частоты вращения катушки

Из графика видно, что разработанный высевающий аппарат обеспечивает необходимую производительность при ширине захвата сеялки $B_p = 6,0$ м и рабочей скорости движения агрегата $V_c = 2,78$ м/с.

Равномерность высева между семяпроводами была определена путем измерения массы семян на каждом семяпроводе, результаты испытаний были отображены в виде диаграммы на рисунке 8.

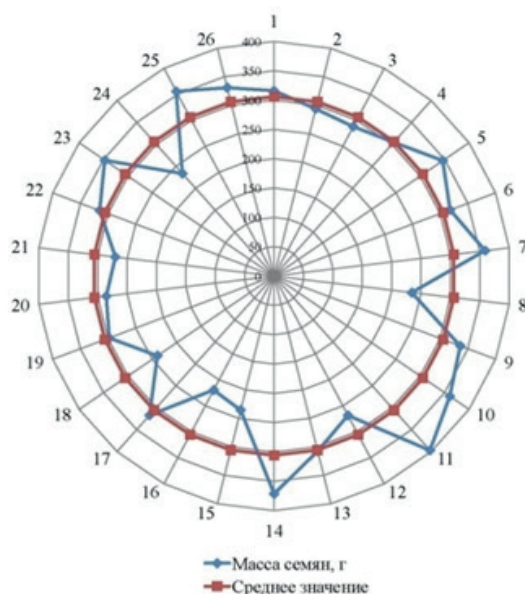


Рисунок 8 – Распределение семян пшеницы по семяпроводам при норме 120 кг/га

Анализ представленных диаграмм показывает, что минимальное значение равно 270 гр. семян, а максимальное 346 гр. семян, среднее значение по всем семяпроводам составило 305 гр. В выше представленных диаграммах указаны результаты по семенам пшеницы, также проведены исследования с семенами ячменя и минеральными удобрениями, где были построены аналогичные диаграммы.

По итогам испытаний полученные данные обработаны и определены такие технологические параметры, как неустойчивость общего высева и неравномерность высева между семяпроводами, указанными в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты лабораторных опытов разрабатываемой сеялки на высева пшеницы сорта «Шортландинская 95, Улучшенная»

Технологический параметр	Показатели	Норма высева 80 кг/га	Норма высева 120 кг/га	Норма высева 160 кг/га
Неустойчивость общего высева	Среднеарифметическое отклонение высеянного по повторностям от среднего, %, H_v	0,61	0,74	0,63
	Стандартное отклонение между повторностями, г, σ'	47,38	84,86	87,04
	Коэффициент вариации, %, H_v'	0,89	1,07	0,82
Неравномерность высева между семяпроводами	Среднеарифметическое отклонение, %, $H_{(a)}$	13,30	12,54	12,33
	Стандартное отклонение между семяпроводами, г, σ	32,48	47,81	62,42
	Коэффициент вариации, %, $H_{(a)}'$	15,89	15,64	15,35

Из таблицы 4 видно, что неустойчивость общего высева разработанной центральной пневматической высевающей системы колеблется от 0,82% до 1,07%, а неравномерность высева между семяпроводами уменьшается при увеличении нормы высева и находится в пределах 15,35% до 15,89%, такие же показатели у зарубежных аналогов фирм «Pöttinger» и «John Deere». Аналогичные показатели были получены при высева ячменя и минеральных удобрений.

Обсуждение

Из существующих пневматических высевающих систем выделены четыре основные принципиальные схемы и выбрана централизованная одноступенчатая система, на базе которой разработана конструктивно-технологическая схема пневматической высевающей системы (рисунок 1 и 2).

Для проектирования центральной пневмовысевающей системы была получена зависимость секундной производительности центральной высевающей системы от нормы высева и внесения минеральных удобрений и ширины захвата сеялки, на основании которой были разработаны катушечный желобчатый высевающий аппарат, пневмопровода, пневмоматериалопроводы и распределительная головка с уточнёнными конструктивными параметрами.

Для проведения стендовых испытаний центральной пневматической высевальной системы изготовлена лабораторная установка и определены технологические параметры.

По результатам испытаний неустойчивость общего высева при норме высева 160 кг/га составила 0,82%, а при норме 120 кг/га соответственно -1,07%, что значительно ниже допустимой отметки $\pm 3\%$.

Неравномерность высева между семяпроводами при норме высева 160 кг/га составила 15,35%. При норме высева 80 кг/га, соответственно 15,89%. Необходимо отметить, что при эксплуатации зарубежные аналоги фирм «Pöttinger» (Австрия) Terrasem R3 Fertilizer и «John Deere» (США) модели 1830 и 1835 имели схожие показатели. Также, конструкции машин этих фирм схожи по универсальности, видам высеваемых культур, по различным выполняемым операциям за один проход агрегата, отличия в том, что в большинстве сеялок используется оригинальные высевальные системы, а конструктивные исполнения и технологические схемы процесса различные. При этом у них низкая годовая загрузка, они не адаптированы под почвенно-климатические условия и более металлоемкие.

Разработанная центральная пневматическая высевальная система с автоматическим блоком управления широкозахватных посевных комплексов для зерновых культур, обеспечивает выравнивание посевного материала по поперечному сечению вертикальной части распределителя при минимальном аэродинамическом сопротивлении, а также применение направителя в распределительной головке исключает травмирование посевного материала.

Разработка и создание центральной высевальной системы с автоматизированным блоком управления имеет значительные преимущества перед зарубежными аналогами, в том числе и по цене. Обеспечивающее равномерное распределение семян по площади поля и как результат повышающая урожайность, для машиностроения Казахстана является актуальным решением агроинженерной задачи.

Заключение

Изготовлена экспериментальная сеялка с шириной захвата 6 метров, на которой была установлена разработанная нами центральная пневматическая высевальная система для высева семян и дифференцированного внесения минеральных удобрений в разные заданные глубины заделки, которая прошла хозяйственные испытания на полях ТОО «Северо-Казахстанская Сельскохозяйственная опытная станция».

При проектировании новых технических средств, также произведено экономическое обоснование, для установления целесообразности применения новых технических средств, напрямую зависящая от ее экономической эффективности. По результатам оценки экономической эффективности, получены следующие показатели: балансовая стоимость экспериментальной сеялки на 13 218 000 тенге дешевле базовой сеялки, а эксплуатационные расходы ниже на 7552,8 тенге/га. Расчетный годовой экономический эффект от применения разрабатываемой сеялки составил 7 062 034 тенге, которая достигается за счет уменьшения эксплуатационных затрат и прибавки урожая.

Информация о финансировании

Исследования проводились в рамках проекта грантового финансирования ИРН AP22783508 «Разработка центральной пневматической высевальной системы с автоматическим блоком управления широкозахватных посевных комплексов для зерновых культур».

Список литературы

- 1 Посевная-2024 в Казахстане: что посеешь... [Электронный ресурс]
- 2 Aduov, M.A., The influence of random technological and control impacts on the process of seed sowing and mineral fertilizers [Text] / M.A. Aduov, S. N. Kapov, S. A. Nukusheva, E. Kaspakov, B. K. Tarabaev, K. Isenov, K. Volodya // Eco. Env. & Cons. - 2017. - Vol. 23(1). - P. 267-277.
- 3 Aduov, M.A. Analysing the results field tests of an experimental seeder with separate introduction of seeds and fertilizers [Text] / M.A. Aduov, S. A. Nukusheva, E. Kaspakov, K. Isenov, K. Volodya //

International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. - 2019. - Vol. 9(4). - P.589-598.

4 Aduov, M.A. Seed drills with combined coulters in No-till technology in soil and climate zone conditions of Kazakhstan [Text] / M.A. Aduov, S. A. Nukusheva, E. Kaspakov, K. Isenov, K. Volodya, T. Tulegenov // Agriculture Scandinavia section B-Soil and plant science. - 2020. - Vol. 70. - Issue 6. - P. 525-531.

5 Aduov, M. A. Experimental Field Tests of the Suitability of a New Seeder for the Soils of Northern Kazakhstan Agriculture (Switzerland) [Text] / M.A. Aduov, S.A. Nukusheva, T.K. Tulegenov, K. Volodya, K. Uteulov, K. Boleslaw M. Bembenek // Agriculture. - 2023. - Vol. 13(9). - P.1687.

6 Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний [Текст] - Введ. 2019-06-01. -М.: Стандартинформ, 2018.

7 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний [Текст]: - Введ. 2013-01-01. - М.: Стандартинформ, 2020.

8 Астахов, В.С. Механико-технологические основы посева сельскохозяйственных культур сеялками с пневматическими системами группового дозирования [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. -Горки. 2007. - 377 с.

9 Mudarisov, S. Specifying two-phase flow in modeling pneumatic systems performance of farm machines [Text] / 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. - Vol. 40(4). - P. 706-715.

10 Kravtsov, A. V. Simulation of the Pneumatic System of a Seed Drill with a Vertical Flow Direction [Text] / A. V. Kravtsov, V. V. Konovalov, V. V. Zaitsev, A. M. Petrov, S. Petrova // KnE Life Sciences. - 2020. - P. 239-244.

11 Konovalov, V., Pneumatic system of a seeder with pneumatic sowing [Text] / V. Konovalov, A. Kravtsov, V. Zaitsev, A. Petrov, S. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. - 2019. - Vol. 403. - P. 1-10.

12 Lei, X. Simulation of gas-solid two-phase flow and parameter optimization of pressurized tube of air-assisted centralized metering device for rapeseed and wheat [Text] / X. Lei, Y. Liao, L. Wang, D. Wang, L. Yao, Q. Liao // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. - 2017. - Vol. 33 (19). - P. 67-75.

13 Адуов, М.А., Нукушева, С.А. Обоснование технологического процесса высевальной системы с винтовым дозатором зерновой сеялки [Текст] / Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. - 2013. - № 1(76). - С.127-137.

14 Насонов, В.А. Обоснование процесса посева и параметров дозирующих рабочих органов широкозахватной зерновой сеялки с централизованной высевальной системой [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. -Глеваха. 1984. - 281 с.

15 Листопад, Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст]: Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов // под общ.ред. Г.Е. Листопада. - М.: Агропромиздат. 1986. - 688 с.

16 Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные машины [Текст]: учебники и учеб. пособия для студентов высш учеб. Заведений / Н.И. Кленин, С.Н. Киселев, А.Г. Левшин. -М.: Колос. 2008. - 816 с.

17 Рахимов, З.С. Разработка противоэрозионных технологий и технических средств обработки почвы и посева на склоновых агроландшафтах [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. -Уфа. 2013. - 373 с.

18 Melnik, V. Numerical Simulation of Gas-Dynamic Processes in the Centrifugal Radial Fan of Seeding Machines [Text] / V. Melnik, Al. Zelensky, An. Zelensky // Machinery and Energetics. - 2022. - Vol. 13. - Issue 3. - P. 6272.

References

1 Posevnaya-2024 v Kazahstane: chto poseesh'... [Electronic resource]

2 Aduov, M.A., The influence of random technological and control impacts on the process of seed

sowing and mineral fertilizers [Text] / M.A. Aduov, S. N. Kapov, S. A. Nukusheva, E. Kaspakov, B. K. Tarabaev, K. Isenov, K. Volodya // Eco. Env. & Cons. - 2017. - Vol. 23 (1). - P. 267-277.

3 Aduov, M.A. Analysing the results field tests of an experimental seeder with separate introduction of seeds and fertilizers [Text] / M.A. Aduov, S. A. Nukusheva, E. Kaspakov, K. Isenov, K. Volodya // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. - 2019. - Vol. 9(4). - P. 589 - 598.

4 Aduov, M.A., Seed drills with combined coulters in No-till technology in soil and climate zone conditions of Kazakhstan [Text] / M.A. Aduov, S. A. Nukusheva, E. Kaspakov, K. Isenov, K. Volodya, T. Tulegenov // Agriculture Scandinavia section B-Soil and plant science. - 2020. - Vol. 70. - Issue 6. - P. 525-531.

5 Aduov, M. A. Experimental Field Tests of the Suitability of a New Seeder for the Soils of Northern Kazakhstan Agriculture (Switzerland) [Text] / M.A. Aduov, S.A. Nukusheva, T.K. Tulegenov, K. Volodya, K. Uteulov, K. Boleslaw M. Bembenek // Agriculture. - 2023. - Vol. 13(9). - P.1687.

6 Tekhnika sel'skohozyajstvennaya. Seyalki traktornye. Metody ispytaniy [Tekst] - Vved. 2019-06-01. - M.: Standartinform, 2018.

7 Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Metody opredeleniya uslovij ispytaniy [Tekst]: - Vved. 2013-01-01. - M.: Standartinform. 2020.

8 Astahov, V.S. Mekhaniko-tehnologicheskie osnovy poseva sel'skohozyajstvennykh kul'tur seyalkami s pnevmaticheskimi sistemami gruppovogo dozirovaniya [Tekst]: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01. - Gorki. 2007. - 377 s.

9 Mudarisov, S. Specifying two-phase flow in modeling pneumatic systems performance of farm machines [Text] / 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. - Vol. 40 (4). - P. 706-715.

10 Kravtsov, A. V. Simulation of the Pneumatic System of a Seed Drill with a Vertical Flow Direction [Text] / A. V. Kravtsov, V. V. Konovalov, V. V. Zaitsev, A. M. Petrov, S. Petrova // KnE Life Sciences. - 2020. - P. 239-244.

11 Konovalov, V., Pneumatic system of a seeder with pneumatic sowing [Text] / V. Konovalov, A. Kravtsov, V. Zaitsev, A. Petrov, S. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. - 2019. - Vol. 403. - P.1-10.

12 Lei, X. Simulation of gas-solid two-phase flow and parameter optimization of pressurized tube of air-assisted centralized metering device for rapeseed and wheat [Text] / X. Lei, Y. Liao, L. Wang, D. Wang, L. Yao, Q. Liao // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. - 2017. - Vol. 33(19). - P. 67-75.

13 Aduov, M.A. Obosnovanie tekhnologicheskogo processa vysevayushchej sistemy s vintovym dozatorom zernovoj seyalki [Tekst] / M.A. Aduov, S.A. Nukusheva // Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina. - 2013. - № 1(76). - S.127-137.

14 Nasonov, V.A. Obosnovanie processa vyseva i parametrov doziryuyushchih rabochih organov shirokozahvatnoj zernovoj seyalki s centralizovannoj vysevayushchej sistemoy [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. -Glevaha. 1984. - 281 s.

15 Listopad, G.E. Sel'skohozyajstvennyye i meliorativnyye mashiny [Tekst]: G. E. Listopad, G. K. Demidov, B.D. Zonov / pod obshch.red. G. E. Listopada. -M.: Agropromizdat. 1986. - 688 s.

16 Klenin, N.I. Sel'skohozyajstvennyye mashiny [Tekst]: uchebniki i ucheb. posobiya dlya studentov vyssh. ucheb. Zavedenij / N.I. Klenin, S.N. Kiselev, A.G. Levshin, -M.: Kolos, 2008. - 816 s.

17 Rahimov, Z.S. Razrabotka protivooerozionnykh tekhnologij i tekhnicheskikh sredstv obrabotki pochvy i poseva na sklonovykh agrolandshaftah [Tekst]: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01. -Ufa. 2013. - 373 s.

18 Melnik, V. Numerical Simulation of Gas-Dynamic Processes in the Centrifugal Radial Fan of Seeding Machines [Text] / V. Melnik, Al. Zelensky, An. Zelensky // Machinery and Energetics. - 2022. - Vol. 13. - Issue 3. - P. 62 - 72.

КЕҢ АЛЫМДЫ СЕПКІШКЕ АРНАЛҒАН ОРТАЛЫҚ ПНЕВМАТИКАЛЫҚ СЕПКІШ ЖҮЙЕНІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРІ

Адуов Мубарак Адуович

Техника ғылымдарының докторы, профессор

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

Астана қ., Қазақстан

E-mail: aduov50@mail.ru

Нукушева Сауле Абайдильдиновна

Техника ғылымдарының кандидаты

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

Астана қ., Қазақстан

E-mail: nukusheva60@mail.ru

Володя Кадирбек

Докторант

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

Астана қ., Қазақстан

E-mail: vkadirbek@list.ru

Исенов Казбек Галымтаевич

PhD

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

Астана қ., Қазақстан

E-mail: isenov-kz@mail.ru

Каспаков Есен Жаксылыкович

Техника ғылымдарының кандидаты, доцент

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

Астана қ., Қазақстан

E-mail: kaspakove@mail.ru

Мустафин Жасулан Жарылкаганович

Техника ғылымдарының кандидаты

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

Астана қ., Қазақстан

E-mail: mustafin_j80@mail.ru

Түйін

Ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі мен сапасына сан алуан факторлар әсер етеді. Олардың бірі - себу процесі, оның сапалы орындалуы болашақ егінге тікелей әсер етеді. Солтүстік Қазақстанның топырақ-климаттық жағдайларын және үлкен егістік аудандарын ескере отырып себуді сапалы және уақтылы жүргізуді аймақтың топырақ-климаттық, ұйымдастырушылық және экономикалық жағдайларына бейімделген кең алымды жоғары өнімділікті пневматикалық сепкіштер қамтамасыз етеді. Осыған орай, себудиң жоғарғы сапасын қамтамасыз ететін дәнді дақылдарды себуге арналған ғылыми негізделген, жоғарғы өнімділікті және Солтүстік Қазақстанның белгілі топырақ-климаттық жағдайларына бейімделген, кең алымды, пневматикалық сепкішті жасаудың қажеттілігі туындап тұр. Мұндай машинаның маңызды элементтерінің бірі орталық пневматикалық сепкіш жүйесі.

Орталық пневматикалық жүйелерге арналған зерттеулерге жүргізілген шолу мен талдау олар көп жағдайда жеке тораптар бойынша жүргізілгенін көрсетті, біздің жұмыстың мәні орталық пневматикалық жүйенің барлық құрама бөлшектерін кешенді түрде теориялық және зертханалық зерттеуде.

Тұқымдар мен минералды тыңайтқыштардың тұқым тыңайтқыш сепкіш аппараттан сіңіргіштерге дейін тасымалдануын теориялық зерттеу үшін екі фазалы ағыстардың механикасының заңдары пайдаланылды. Ал зертханалық зерттеулер үшін орталық пневматикалық сепкіш аппараты бар зертханалық стенд құрастырылды, ол стендте МЕМСТтерге сәйкес жалпыға белгілі әдістеме бойынша жасалған пневматикалық орталық сепкіш жүйенің технологиялық параметрлері анықталды.

Жасалған теориялық зерттеулер барлық тораптардың конструктивтік параметрлері мен сепкіштің технологиялық параметрлері арасындағы өзара байланыстардың жалпы кескінін көруге мүмкіндік берді, ал зертханалық сынақтардың нәтижесі бойынша жасалған орталық пневматикалық сепкіш жүйе сапалық көрсеткіштері бойынша шет елдік аналогтардан кем еместігін көрсетті.

Кілт сөздер: пневматикалық сепкіш жүйе; секундтық өнімділік; себу нормасы; сепкіш аппарат; катушка; ауа ағыны.

THEORETICAL AND LABORATORY RESEARCH OF A CENTRAL PNEUMATIC SEEDING SYSTEM FOR A WIDE-COVERAGE SEEDER

Aduov Mubarak Aduovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University

Astana, Kazakhstan

E-mail: aduov50@mail.ru

Nukusheva Saule Abaydildinovna

Candidate of technical sciences

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University

Astana, Kazakhstan

E-mail: nukusheva60@mail.ru

Volodya Kadirbek

Doctoral student

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University

Astana, Kazakhstan

E-mail: vkadirbek@list.ru

Isenov Kazbek Galymtaevich

PhD

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University

Astana city, Kazakhstan

E-mail: isenov-kz@mail.ru

Kaspakov Yesen Zhaksylykovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University

Astana, Kazakhstan

E-mail: kaspakove@mail.ru

Mustafin ZHasulan ZHarylkaganovich
Candidate of Technical Sciences
S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University
Astana, Kazakhstan
E-mail: mustafin_j80@mail.ru

Abstract

A multitude of factors affect the yield and quality of agricultural crops, one of which is the sowing process. The quality execution of sowing directly influences the future harvest. Considering the soil and climatic conditions and the vast sowing areas in northern Kazakhstan, high-quality and timely sowing is ensured by large-scale, high-performance pneumatic seeders that are adapted to the region's soil-climatic, organizational, and economic conditions. Therefore, there is a need to create a scientifically-based, high-performance, and high-tech wide-coverage pneumatic seeder, adapted to specific soil and climatic conditions of northern Kazakhstan for grain sowing, that ensures high sowing quality. One of the most critical elements of such a machine is the central pneumatic sowing system.

A review and analysis of research on central pneumatic systems showed that studies were mainly conducted on individual components. However, the essence of our research lies in a comprehensive theoretical and laboratory investigation of all components of the central pneumatic system.

For the theoretical study of seed and mineral fertilizer movement from the seed-fertilizer metering unit to the openers, the laws of two-phase flow mechanics were used. For laboratory research, a test bench with a central pneumatic sowing apparatus was constructed, on which the technological parameters of the developed pneumatic centralized sowing system were determined according to standardized methodologies in accordance with GOST standards.

The theoretical studies conducted provide an overall picture of the interrelationships between the design parameters of all components and the technological parameters of the seeder. The results of laboratory experiments established that the developed central pneumatic sowing system is not inferior to foreign counterparts in terms of quality indicators.

Keywords: pneumatic sowing system; second performance; seeding rate; sowing device; coil; air flow.