

На правах рукописи

Овчинникова Татьяна Владимировна

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ПНЕВМОВИНТОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ
ЗЕРНА С УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЛЕГКИХ ПРИМЕСЕЙ**

**Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

Научный руководитель: **Павлов Павел Иванович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Тишанинов Николай Петрович,**
доктор технических наук, профессор
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», научный руководитель
отдела управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве
Чупшев Алексей Борисович,
кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»
доцент кафедры «Технический сервис машин»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «**Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия**»

Защита диссертации состоится « » _____ 2016 г. в 10.15 на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 220.008.02 при ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» по адресу: 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26, зал заседаний диссертационного совета

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» и на официальных интернет сайтах ВАК РФ и Волгоградского ГАУ [http:// www.volgau.ru](http://www.volgau.ru)

Автореферат разослан « » _____ 2016 г. и размещен на официальных интернет-сайтах ВАК РФ и Волгоградского ГАУ.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Седов Алексей Васильевич

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Производство зерна является одной из ведущих отраслей сельскохозяйственного производства. Объем производства зерна всех видов в Российской Федерации в 2014 году составил более 100 млн. т. В дальнейшем ожидается рост производства до 115-120 млн. т. в год.

На процессы транспортирования и погрузки зерна тратятся весьма значительные трудовые и материальные ресурсы. По данным ряда исследований затраты на транспортирование зернового вороха с поля составляют до 102 руб./т при длине пути 5 км и до 353 руб./т при длине 20 км.

По некоторым данным на одну тонну произведенного и закупленного зерна приходится 7...9 т погрузочно-разгрузочных работ. При этом отмечается, что чем лучше зерно обработано, тем меньше данный показатель. Легкие примеси перемещаются вместе с зерном к месту хранения, занимают полезный объем кузова, обуславливая непроизводительные затраты. Наибольшее содержание легких примесей – пыли, мелкой земли, семян сорняков отмечается в зерне, выгружаемом из комбайна. Загрязненность сорной и другими примесями бункерного зерна достигает до 8 %. Уменьшение общего объема погрузочно-разгрузочных работ позволяет снизить затраты труда и денежных средств. Создание технических средств производящих очистку зерна при транспортировании, позволяет получить значительную экономию эксплуатационных расходов на транспортирование зернового вороха к местам хранения и переработки. В связи с этим работы направленные на повышение производительности и снижение энергоемкости транспортирования с одновременной очисткой имеют важную актуальность.

Среди транспортирующих устройств большую группу составляют винтовые конвейеры или шнеки. Основными преимуществами шнеков является компактность, простота эксплуатации, надежность и долговечность. Однако, в настоящее время повышение производительности данных устройств осуществляется за счет увеличения диаметра, что уменьшает их компактность и увеличивает металлоемкость. Таким образом, создание высокопроизводительных транс-

портирующих установок на основе винтовых конвейеров с возможностью удаления мелких примесей является актуальной задачей.

Работа выполнена в соответствии с приоритетным научным направлением ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК» (регистрационный номер 01201151795) создание высокопроизводительных грузоподъемных машин и другого навесного оборудования.

Степень разработанности темы. Разработке и исследованию конструктивно-технологической схемы пневмовинтового конвейера посвящены работы Салихова А.Н., Нестерова С.А., Чаплынской А.А..

Предложенные пневмовинтовые конвейеры предназначены для вертикального транспортирования зерна. Исследований по горизонтальному и наклонному транспортированию зерна пневмовинтовой установкой не проводилось. Помимо этого впервые совместно с транспортированием исследуется очистка зерна от пыли и других мелких примесей.

Цель работы: Повышение эффективности транспортирования зерна с одновременной очисткой от легких примесей путем обоснования конструктивно-режимных параметров пневмовинтовой установки.

Задачи исследований:

- провести анализ существующих конструкций и исследований винтовых конвейеров и способов выделения легких примесей для обоснования совмещения процессов транспортирования и очистки зерна;

- обосновать конструктивно-технологическую схему пневмовинтовой установки, обеспечивающей повышение производительности и снижение содержания легких примесей в зерновой массе; теоретически исследовать процессы транспортирования зерна шнеком и потоком воздуха и получить аналитические выражения по определению производительности, приводной мощности и энергоемкости, а так же конструктивно-режимных параметров;

- получить экспериментальные зависимости производительности транспортирования и удаления легких примесей, приводной мощности и энергоемкости пневмовинтовой установки от конструктивных и режимных параметров; экспе-

риментально обосновать конструктивно - режимные параметры пневмовинтовой установки с устройством для удаления легких примесей;

- провести испытания пневмовинтовой установки в производственных условиях и дать технико-экономическую оценку эффективности ее применения.

Научная новизна работы заключается:

- в теоретическом обосновании конструктивно-технологической схемы пневмовинтовой установки с устройством для удаления легких примесей из транспортируемого зерна;

- получении аналитических и экспериментальных зависимостей производительности, мощности и энергоемкости транспортирования зерна, а так же производительности выделения легких примесей;

- теоретическом и экспериментальном обосновании конструктивно - режимных параметров предлагаемой пневмовинтовой установки.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в получении аналитических выражений для определения производительности, мощности привода и энергоемкости пневмовинтовой установки. Получены уравнения регрессии, описывающие влияние конструктивно-режимных параметров на основные показатели эффективности пневмовинтовой установки. Опытный образец пневмовинтовой установки внедрен в КХ «Возрождение» (Духовницкий район, Саратовская область). Полученные результаты могут быть использованы проектно-конструкторскими организациями при разработке и обосновании параметров пневмовинтовых установок различной производительности.

Методология и методы исследования. Методология исследований основана на методах системного анализа, классической механики и математической статистики. Теоретические исследования выполнялись на основе законов статического и динамического анализа, теории физического моделирования. Экспериментальные исследования проведены с применением многофакторного планирования, при этом использовались существующие ГОСТы и разрабатывались частные методики. Обработка результатов экспериментов методами математической статистики проведена с использованием программ Math Cad и Excel.

Научные положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема пневмовинтовой установки для транспортирования зерна с устройством для удаления легких примесей, на которую получены патенты РФ № 91989, 107517;
- аналитические зависимости, описывающие изменение производительности, суммарной приводной мощности и энергоемкости процесса транспортирования и выделения легких примесей от конструктивных и режимных параметров пневмовинтовой установки;
- экспериментальные зависимости и уравнения регрессии, позволяющие установить значения параметров пневмовинтовой установки при которых достигается наибольшая производительность, наименьшие затраты энергии, а так же обеспечивается удаление легких примесей из транспортируемого зерна.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечена достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Основные положения работы заслушивались на конференциях профессорско-преподавательского состава по итогам научно-исследовательской работы за 2009–2014 гг. Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И.Вавилова; на III Международной научно-практической конференции «Вавиловские чтения – 2009» (Саратов, 2009); на Международной конференции «Новые технологии и технические средства в АПК», посвященной 105-летию со дня рождения профессора Красникова В.В. (Саратов, 2013); на Международном научно-техническом семинаре им. В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2015);

По результатам выполненной работы опубликованы 8 работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 2 патента РФ на полезную модель № 91989 и № 107517. Объем публикаций составил 1,3 печ. л., из которых 0,8 печ. л. принадлежат лично соискателю.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем составляет 137 страниц машинописного текста,

в том числе 5 приложений. Основной текст изложен на 121 странице, содержит 6 таблиц и 50 рисунков. Список литературы включает в себя 135 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» на основании анализа существующих исследований, литературных источников установлено, что серийно выпускаемые винтовые транспортеры аналогичны по конструкции. Повышение производительности в них достигается увеличением диаметра шнека, что приводит к росту энергоемкости и металлоемкости. Задачи повышения производительности винтовых транспортеров ставились и решались многими исследованиями. Данной проблеме посвящены работы В.В. Красникова, А.М. Григорьева, Е.И. Резника, В.Г. Артемьева, В.А. Зуева, В.В. Коновалова, Ю.И. Волкова, В.В. Криловецкого, А.В. Чупшева и других. Дальнейшее повышение производительности винтового конвейера возможно за счет сочетания перемещения зерна шнеком и потоком воздуха.

Наличие разнообразных примесей в зерне приводит к экономическим потерям. Примеси перемещаются вместе с зерном к месту хранения, обуславливая непроизводительные затраты. Ряд работ посвящен изучению процессов выделения легких примесей вертикальным воздушным потоком. К ним относятся работы А.Н. Зюлина, В.Д. Шафоростова, Н.П. Тишанинова, И.Е. Припорова, В.Г. Хамулина и др. Однако, процесс выделения легких примесей при боковом воздействии воздушного потока существенно отличается. Создание пневмовинтовой установки, в которой воздушный поток наряду с увеличением производительности используется для удаления легких примесей, позволит получить значительную экономию эксплуатационных расходов на транспортирование зерна.

Во второй главе «Теоретическое исследование работы пневмовинтовой установки» разработана новая конструктивно-технологическая схема пневмовинтовой установки (патенты № 91989,107517), позволяющей увеличить производительность транспортирования и удалять из зерна легкие примеси.

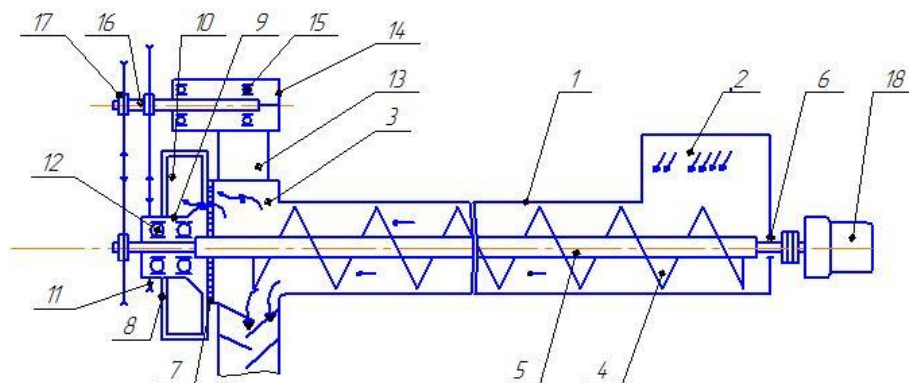


Рисунок 1 - Схема пневмовинтовой установки с устройством для удаления легких примесей: 1 - кожух, 2 - загрузочное устройство, 3 - разгрузочное устройство, 4 - шнек, 5 - вал, 6 - задняя опора, 7 - перфорированная стенка, 8 - кожух вентилятора, 9 – стакан, 10 - лопасти, 11, 17 - ременная передача, 12,15 - подшипники, 13 - кронштейн, 14 – обойма, 16 - контрприводной вал, 18 – привод.

Исходной формулой для производительности пневмовинтовой установки является формула производительности машины непрерывного действия:

$$Q = \rho Av, \quad (1)$$

где ρ – плотность зерна, кг/м³; A – площадь поперечного сечения потока зерна в кожухе транспортера, м²; v – скорость потока зерна, м/с.

Всасывающий воздушный поток увеличивает заполнение межвиткового пространства. Производительность пневмовинтовой установки определяется:

$$Q = k_{ve} \rho \cdot \pi (R_{ш}^2 - R_{в}^2) \cdot k_{nv} \cdot \frac{pn}{60} \quad (2)$$

где k_{ve} – коэффициент заполнения межвиткового пространства, учитывающий воздействие воздушного потока; $R_{ш}$ – радиус шнека, м; $R_{в}$ – радиус вала шнека, м; k_{nv} - коэффициент влияния воздушного потока на трение зерна по винтовой поверхности; p – шаг шнека, м; n - частота вращения шнека, об/мин.

Мощность привода включает в себя мощность $P_{вт}$ необходимую для привода шнека и мощность $P_{ен}$ необходимую для привода вентилятора.

$$P_c = P_{вт} + P_{ен} \quad (3)$$

Мощность для привода шнека пневмовинтовой установки определяется как произведение суммарной силы сопротивления F_c (Н) движению частиц зерна на скорость движения v (м/с):

$$P_{en} = F_c v. \quad (4)$$

Суммарная сила сопротивления определяется из системы дифференциальных уравнений движения зерна, полученной на основании анализа сил, действующих на частицу (рис. 2). На частицу в пневмовинтовой установке будут действовать: - сила тяжести F_g , направленная вертикально вниз; - реакция N , направленная по нормали к поверхности шнека и соответственно под углом $90-\alpha$ к оси шнека (α – угол наклона винтовой поверхности шнека); - сила трения по поверхности шнека F_{mp}^b , направленная по касательной к этой поверхности; - сила трения о кожух F_{mp}^k , направленная по касательной к траектории движения частицы; - центробежная сила инерции $F_{цб}$, направленная по радиусу от центра сечения шнека; - сила реакции кожуха шнека N_k , направленная по нормали к поверхности кожуха; - сила воздушного потока F_{en} направленная вдоль оси шнека.

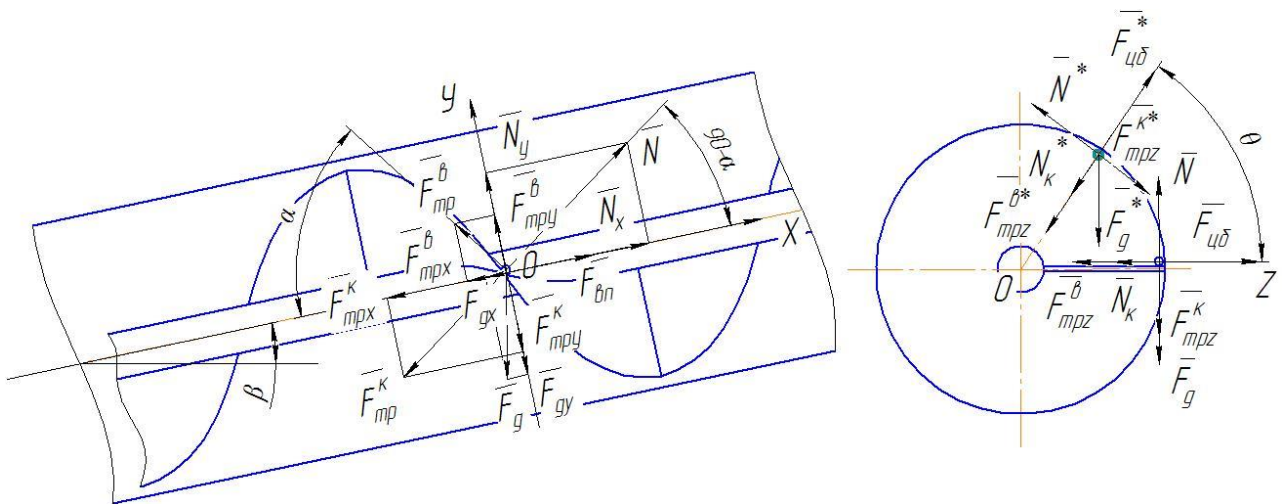


Рисунок 2 - Схема сил, действующих на частицу при транспортировании.

Уравнения представлены системой (5).

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = N_x + F_{вп} - F_{gx} - F_{мпx}^b - F_{мпx}^k, \quad m \frac{d^2y}{dt^2} = N_y + F_{мпу}^b - F_{gy} - F_{мпу}^k, \quad m \frac{d^2z}{dt^2} = F_{цб} - N_k + F_{мпz}^b \quad (5)$$

Уравнения системы (5) могут быть представлены как уравнения равновесия, т.к. силы инерции за исключением центробежной силы невелики и могут быть из рассмотрения исключены. Система уравнений примет следующий вид:

$$\begin{aligned} N_x + F_{вп} - F_{gx} - F_{мпx}^b - F_{мпx}^k &= 0 \\ N_y + F_{мпу}^b - F_{gy} - F_{мпу}^k &= 0 \\ F_{цб} - N_k + F_{мпz}^b &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Выразим составляющие реакции поверхности шнека из уравнений системы (6), раскрывая составляющие сил, получим:

$$N_x = -p_\Sigma A + mg \sin \beta + F_{mp}^B \cos \alpha + F_{mp}^K \cos \varphi \quad (7)$$

$$N_y = -F_{mp}^B \sin \alpha + mg \cos \beta + F_{mp}^K \sin \varphi \quad (8)$$

где p_Σ – разряжение в кожухе, Па; A – площадь частиц, м²; m – масса частиц; β – угол наклона шнека; φ – угол наклона касательной к траектории движения.

Подставляя значения сил в 7 и 8 и выражая их через массу, получим:

$$N_x = -p_\Sigma A + mg \sin \beta + f(gm \cos(\alpha - \beta) - p_\Sigma A \sin \alpha) \cos \alpha + fm\omega^2 \frac{D_\epsilon}{2} \cos \varphi \quad (9)$$

$$N_y = -f(gm \cos(\alpha - \beta) - p_\Sigma A \sin \alpha) \sin \alpha + mg \cos \beta + fm\omega^2 \frac{D_\epsilon}{2} \sin \varphi \quad (10)$$

Сила N_x обуславливает движение частицы двигаться в осевом направлении.

Мощность для движения в осевом (поступательном) направлении определяется:

$$P_x = N_x v, \quad (11)$$

Тогда мощность для перемещения частицы зерна в осевом направлении:

$$P_x = [-p_\Sigma A + mg \sin \beta + f(gm \cos(\alpha - \beta) - p_\Sigma A \sin \alpha) \cos \alpha + fm\omega^2 \frac{D_\epsilon}{2} \cos \varphi] \frac{k_{vb} p n}{60} \quad (12)$$

Сила N_y создает крутящий момент. В этом случае мощность определяется:

$$P_y = 0,5 N_y D_\epsilon \omega, \quad (13)$$

где ω – угловая скорость шнека, D_ϵ – диаметр шнека.

$$P_y = [-f(gm \cos(\alpha - \beta) - p_\Sigma A \sin \alpha) \sin \alpha + mg \cos \beta + fm\omega^2 \frac{D_\epsilon}{2} \sin \varphi] \frac{D_B}{2} \omega \quad (14)$$

Для нахождения полной мощности подставим массу зерна, находящуюся в кожухе шнека при транспортировании, выразив ее через производительность.

Тогда мощность для перемещения в осевом направлении:

$$P_x = [-p_\Sigma k_{vb} \pi (R_{ш}^2 - R_{су}^2) (1 + \sin \alpha \cos \alpha) + \frac{QL}{v} (g \sin \beta + fg \cos(\alpha - \beta) \cos \alpha + f\omega^2 \frac{D_\epsilon}{2} \cos \varphi)] \frac{k_{vb} p n}{60} \quad (17)$$

Мощность для вращательной составляющей движения массы зерна:

$$P_y = [-p_\Sigma k_{vb} \pi (R_{ш}^2 - R_{су}^2) \sin^2 \alpha + \frac{QL}{v} (-fg \cos(\alpha - \beta) \sin \alpha + g \cos \beta + f\omega^2 \frac{D_\epsilon}{2} \sin \varphi)] \frac{D_B}{2} \omega \quad (18)$$

Полная мощность привода шнека пневмовинтовой установки будет равна:

$$P_{\text{вм}} = P_x + P_y \quad (19)$$

Для определения мощности привода вентилятора необходимо определить разряжение для создания силы воздушного потока. Разряжение p_{Σ} в пневмовинтовой установке будет расходоваться: - на создание силы воздушного потока, действующей на зерно, p_n ; - на придание воздушному потоку кинетической энергии p_k ; - на преодоление сил трения о поверхность кожуха и шнека p_m ; - на преодоление местных сопротивлений $p_{\text{м}}$.

Полное расчетное давление разряжения:

$$p_{\Sigma} = p_n + p_k + p_m + p_{\text{м}} \quad (20)$$

После подстановки составляющих получим:

$$p_{\Sigma} = 0,5\rho_{\text{в}}v_{\text{в}}^2(1 + 0,5K_3 + K_{\text{ш}}Z_m + K_{\lambda}(1+K_c)L/(K_pD_{\text{в}})) + F_n/k_{\text{в}}\pi(R_{\text{ш}}^2 - R_{\text{вш}}^2), \quad (21)$$

где $\rho_{\text{в}}$ - плотность воздуха, кг/м³; $v_{\text{в}}$ - скорость воздушного потока, м/с; K_3 - коэффициент сопротивления движению в месте сопряжения кожуха шнека и загрузочного устройства; $K_{\text{ш}}$ - коэффициент сопротивления винтовой поверхности на длине одного витка шнека; Z_m - количество витков; K_{λ} - коэффициент сопротивления движению воздушного потока от трения о кожух и винт; K_c - коэффициент сопротивления, зависящий от геометрических размеров шнека и массовой концентрации смеси; L - полная длина шнека; K_p - коэффициент шага шнека.

Мощность необходимая для привода вентилятора:

$$P_{\text{вн}} = Q_{\text{в}}[0,5\rho_{\text{в}}v_{\text{в}}^2(1+0,5K_3+K_{\text{ш}}Z_m+K_{\lambda}(1+K_c)L/(K_pD_{\text{в}}))+F_n/k_{\text{в}}\pi(R_{\text{ш}}^2-R_{\text{вш}}^2)]/\eta, \quad (22)$$

где $Q_{\text{в}}$ - объемный расход воздуха (м³/с); η - к.п.д. привода.

Подставляя значения $P_{\text{вм}}$ и $P_{\text{вн}}$ в выражение (2.5) получим значение полной мощности пневмовинтовой установки. Энергоемкость транспортирования:

$$E = Q/P \quad (23)$$

Зерновой ворох представляет собой массу, состоящую из зерновок различного размера, примесей семян сорных растений, пыли, оболочек, половы и др. Частицы, входящие в данную массу, в разгрузочном устройстве после схода с поверхности вращающегося шнека могут иметь различную траекторию. При наклонном движении траектория полета будет способствовать подхвату частиц

воздушным потоком и последующему выделению. Наиболее трудным (граничным) для отделения легких примесей является движение частиц под действием силы тяжести F_g вертикально вниз (рисунок 3). При подаче всасывающего воздушного потока на частицы зерна будет действовать сила $F_{\text{вн}}$, направленная перпендикулярно силам тяжести F_g , и сопротивления воздуха $F_{\text{ас}}$. Движению частиц под действием силы $F_{\text{вн}}$ будет препятствовать сила сопротивления прохождению воздушного потока от сыпавшегося зерна $F_{\text{сз}}$. Все действующие силы расположены в плоской вертикальной системе координат. Уравнения сил будут иметь вид:

$$mx'' = F_{\text{вн}} - F_{\text{сз}} = p_{\text{вн}} A_{\text{ч}} - 0,5\kappa_{\text{сз}} \mu \rho_{\text{в}} (v_p)^2 \quad (24)$$

$$my'' = F_g - F_{\text{ас}} = mg - F_{\text{ас}} \quad (25)$$

где m – масса частицы, кг; x'' и y'' – вторая производная от координат (ускорение) по горизонтальной и вертикальной оси; $p_{\text{вн}}$ – разряжение (мПа), создаваемое воздушным потоком; A – площадь проекции частицы; $\kappa_{\text{сз}}$ – коэффициент сопротивления зерна движению аэросмеси; μ – коэффициент массовой концентрации; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³; v_p – скорость движения потока воздуха, м/с.

Примем расстояние, которое проходит зерно, равным H (рис. 3). После решения дифференциальных уравнений (24) и (25) получим время падения частиц:

$$t_h = \sqrt{\frac{2H}{g - \frac{C_x \rho_{\text{в}} v_{\text{вч}}^2 S}{2m}}} \quad (26)$$

где C_x – коэффициент сопротивления воздуха, $v_{\text{вч}}$ – скорость относительного движения воздуха и частицы, м/с, S – площадь поперечного сечения частицы, м².

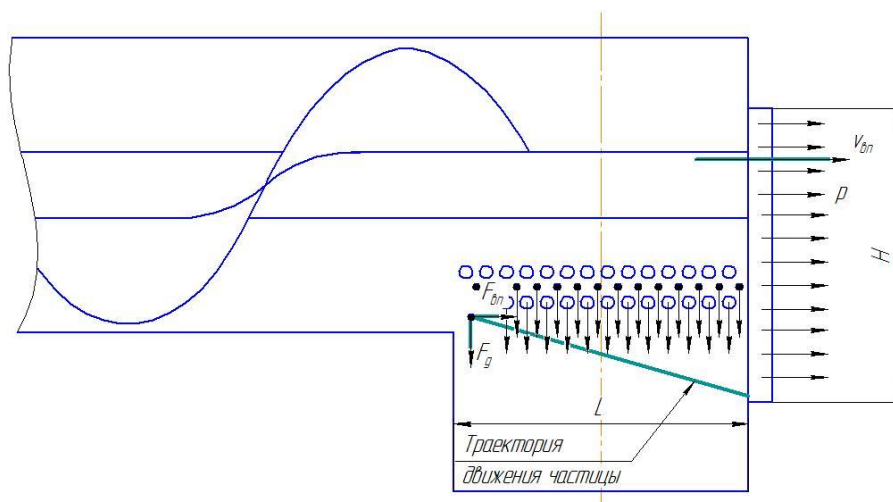


Рис. 3. Схема движения частицы в разгрузочном устройстве

Скорость воздушного потока с частицами должна составлять: $v_{en} = L_p / t_h$

где L_p - расстояние от окна до наиболее удаленных частиц.

Необходимое разрежение для создания воздушного потока заданной скорости определим при решении дифференциального уравнения (25).

Принимая $x = L_p$ выразим время t_L , за которое частица достигнет окна:

$$t_L = \sqrt{\frac{2L_p}{p_{en} A_q - 0,5k_{c3} \rho_B v_p^2}} \quad (27)$$

$$\text{Приравнявая } t_h \text{ и } t_L, \text{ получим: } 2H(p_{en} A_q - 0,5k_{c3} \rho_B v_p^2) = 2L_p \left(g - \frac{C_x \rho_B v S}{2m} \right) \quad (28)$$

Необходимое разрежение на входе в кожух будет определяться:

$$p_{en} = \left[\frac{L_p}{H} \left(g - \frac{C_x \rho_B v S}{2m} \right) + 0,5k_{c3} \rho_B v_p^2 \right] / A_q \quad (29)$$

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» приведена методика исследований физико-механических свойств зерна и входящих в его состав примесей, дано описание экспериментальной установки, изложена программа и методика исследований и производственных испытаний.



Рисунок 4 – Лабораторная и производственная экспериментальные установки.

В основу лабораторных исследований были положены теория планирования эксперимента, методы физического моделирования и математической статистики. Для исследования конструктивных параметров проводились серии однофакторных экспериментов. Для исследования режимных параметров был разработан план двухфакторного эксперимента. По результатам опытов строились уравнения регрессии, которые проверялись по критерию Фишера.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены исследования физико-механических свойств бункерного зерна в целом и его компонентов после разделения с помощью сит. Для исследований использовалось зерно, взятое непосредственно из бункера комбайна в процессе уборки. Определялась влажность, плотность, коэффициенты внешнего и внутреннего трения, скорость витания по известным методикам.

Уравнение регрессии, описывающее изменение производительности от частоты вращения шнека n и скорости воздушного потока v имеет следующий вид:

$$Q = 0,178 + 0,031 \cdot v + 0,004 \cdot n - 0,002 \cdot v^2 + 1,119 \cdot 10^{-4} \cdot v \cdot n - 2,79 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 \quad (30)$$

Графически данное уравнение представлено на рисунке 5. При отсутствии воздушного потока пневмовинтовая установка работает как винтовой конвейер. Производительность растет с увеличением частоты вращения шнека, достигает максимума при $n = 550 \dots 650$ об/мин, затем снижается.

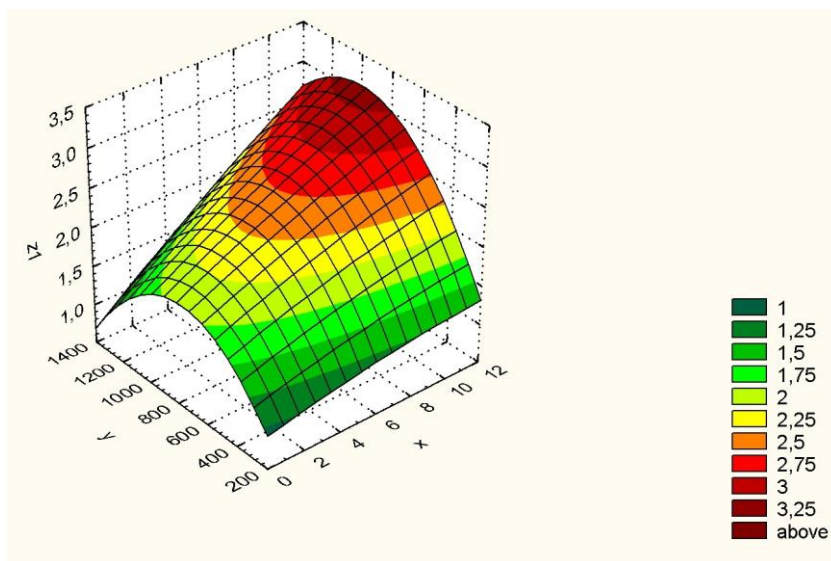


Рисунок 5 - Влияние скорости воздушного потока (x) и частоты вращения рабочего органа (y) на производительность пневмовинтовой установки.

Подача всасывающего воздушного потока качественно изменяет процесс транспортирования. Максимальная производительность достигается при большей частоте вращения шнека. При скорости $v = 6,4$ м/с и $n = 700 \dots 800$ об/мин производительность составляет 2,56 кг/с. При $v = 9,6$ м/с и $n = 900 \dots 1000$ об/мин производительность достигает максимума 2,75 кг/с. Значение производительности на 40...45 % выше производительности шнека.

По экспериментальным получены значения энергоёмкости и построены уравнение регрессии (31) и графическая зависимость (рис. 6).

$$E = 141,816 + 14,961 \cdot v - 0,119 \cdot n + 0,604 \cdot v^2 - 0,025 \cdot v \cdot n + 2,032 \cdot 10^{-4} \cdot n^2 \quad (31)$$

Наименьшая энергоёмкость пневмовинтовой установки имеет место без использования воздушного потока. В этом случае минимальные затраты энергии достигаются при частоте вращения шнека 480...520 об/мин. Однако производительность при этом составляет 1,8...1,9 кг/с.

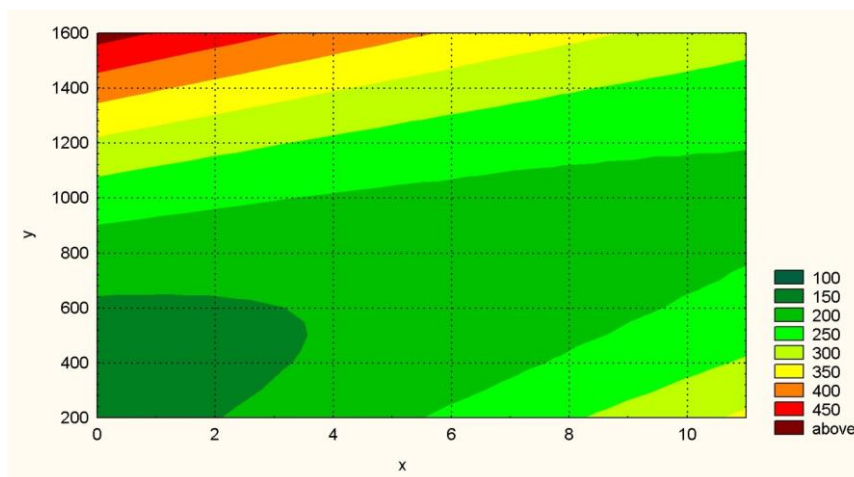


Рисунок 6 - Зависимость энергоёмкости пневмовинтовой установки от скорости воздушного потока (x) и частоты вращения (y) рабочего органа.

При скорости воздушного потока 3,2 м/с энергоёмкость составляет 127,9 Дж/кг, а при 6,4 м/с – 151,6 Дж/кг. Производительность так же увеличивается: в первом случае – 2,26 кг/с, во втором – 2,46 кг/с. Наибольшая энергоёмкость получена при скорости воздушного потока 9,6 м/с.

Для проведения экспериментальных исследований использованы четыре шнека диаметром 90 мм, с различным шагом: 72, 86, 99, 113 мм, что соответствовало коэффициенту шага $K_p = 0,8; 0,95; 1,1; 1,25$. Исследования производились при различной скорости воздушного потока. По результатам получено уравнение регрессии 32 и графическая зависимость (рис. 7) производительности.

$$Q = -5,469 - 0,021 \cdot v + 14,717 \cdot K_p - 0,008 \cdot v^2 + 0,219 \cdot v \cdot K_p - 7,472 \cdot K_p^2 \quad (32)$$

С увеличением скорости воздушного потока до 6,4 м/с производительность пневмовинтовой установки увеличивается при всех значениях шага. Максимум при такой скорости воздушного потока производительность достигает при шаге 99...100 мм (коэффициент шага 1,1...1,11) и составляет 2,87 кг/с.

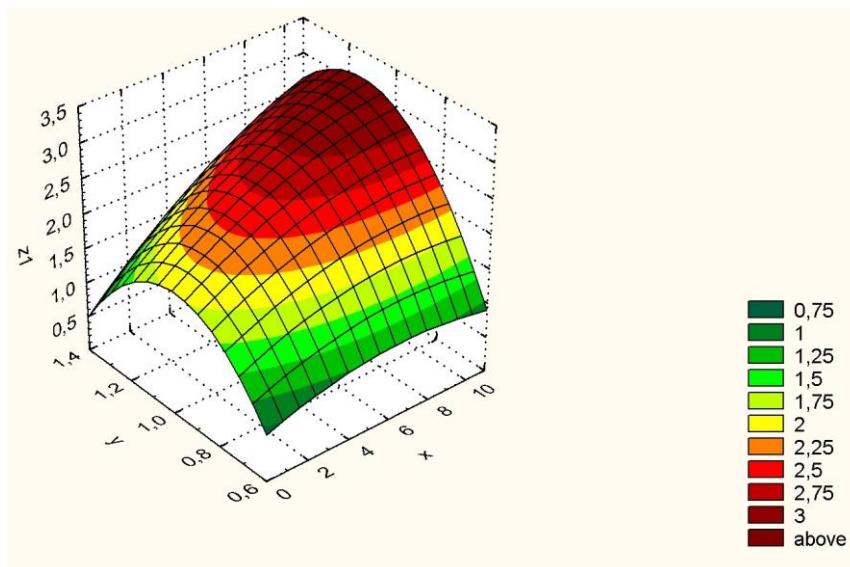


Рисунок 7 - Влияние влияния шага винта (y) и скорости воздушного потока (x) на производительность пневмовинтовой установки.

Зависимость энергоемкости транспортирования зерна пневмовинтовой установкой от шага винта и скорости потока воздуха представлена на рис. 8. Уравнение регрессии, описывающее данную зависимость, имеет вид:

$$E = 293,911 + 9,115 \cdot v - 426,281 \cdot K_p + 0,546 \cdot v^2 - 11,615 \cdot v \cdot K_p + 271,389 \cdot K_p^2 \quad (33)$$

Анализ показывает, что энергоемкость с ростом шага возрастает. Существует значение шага, при котором энергоемкость имеет минимальное значение.

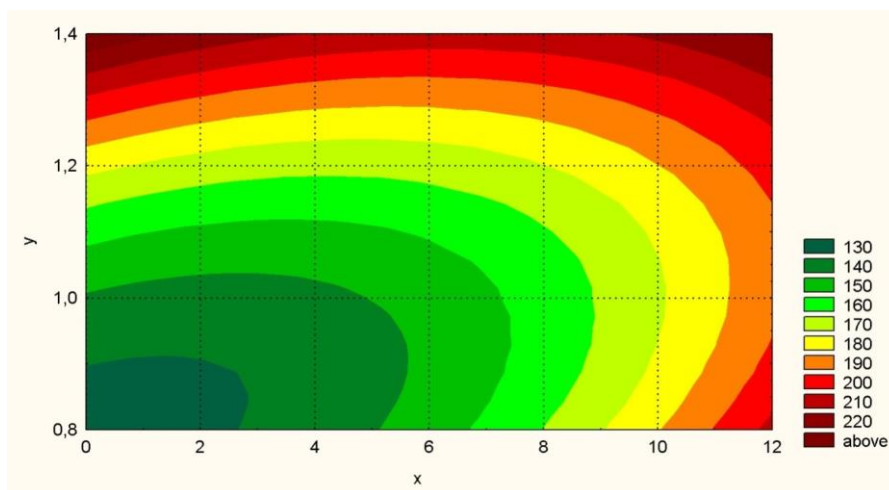


Рисунок 8 - Влияние шага винта (y) и скорости воздушного потока (x) на энергоемкость транспортирования зерна пневмовинтовой установкой.

Для пневмовинтовой установки при скорости воздушного потока $v = 3,2$ м/с энергоемкость имеет минимальное значение $E = 127,9$ Дж/кг при шаге 82...83 мм. При дальнейшем увеличении скорости воздушного потока оптимальный по

энергоёмкости шаг смещается в сторону больших значений. При скорости $v = 6,4$ м/с шаг соответствующий минимальной энергоёмкости 142,7 Дж/кг равен 97...98 мм. Рекомендуемое значение шага винта с диаметром 90 мм соответствует коэффициенту шага 1,1...1,15, скорости воздушного потока 6...6,4 м/с.

Воздушный поток позволяет выполнять еще одну функцию – выделение других легких включений из зерновой массы. Получены зависимости производительности отделения G (кг/мин) и массы остающихся в зерне легких примесей q (г/кг) от скорости воздушного потока v (м/с) и частоты вращения шнека.

Уравнение регрессии для производительности отделения имеет вид:

$$G = -0,218 + 0,247 \cdot v + 1,759 \cdot 10^{-4} \cdot n - 0,016 \cdot v^2 - 2,25 \cdot 10^{-5} \cdot v \cdot n + 1,116 \cdot 10^{-7} \cdot n^2 \quad (34)$$

Скорость воздушного потока 6 м/с обеспечивает высокую производительность выделения (рис. 9). Наибольшая производительность выделения имеет место при скорости 8 м/с, однако при этом возрастают энергозатраты. Увеличение скорости воздушного потока позволяет уменьшить содержание легких примесей. При скорости воздушного потока 6 м/с и частоте вращения шнека 640 об/мин содержание легких примесей в зерне составило 0,5 г/кг.

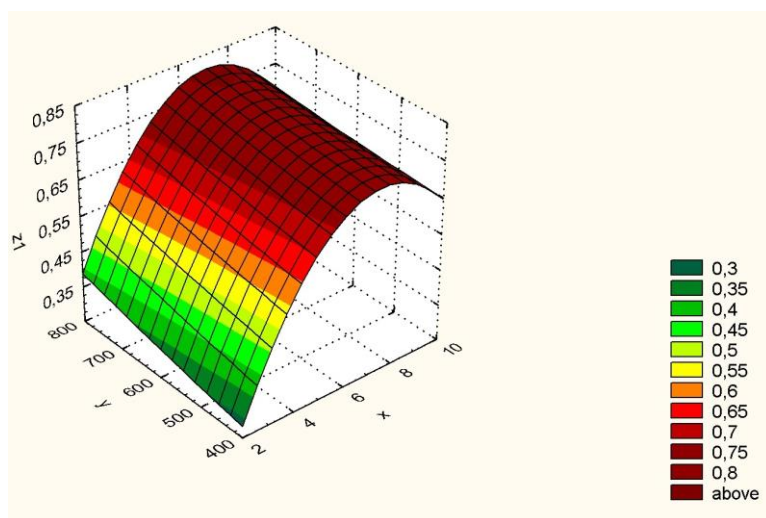


Рисунок 9 - Зависимость производительности отделения легких примесей от скорости воздушного потока (x) и частоты вращения шнека (y).

В пятой главе «Технико-экономическая эффективность» определены экономические показатели внедрения. При транспортировании зерна пневмовинтовой установкой с устройством для удаления легких примесей, в сравнении с винтовым конвейером получен годовой экономический эффект 44650 руб. в це-

нах на 25.08.2015 г., срок окупаемости составил 0,97 года; годовой экономический эффект от удаления легких примесей 8125 руб., срок окупаемости 1,4 года.

Заключение

1. Анализом литературных источников и существующих исследований винтовых конвейеров установлено, что для повышения производительности предусматривают увеличение диаметра винта или использование дополнительных устройств. Эффективным методом является совмещение принципов транспортирования винтом и потоком воздуха, благодаря чему увеличивается производительность, снижается сопротивление транспортированию и энергоемкость. Воздушный поток, подаваемый для увеличения производительности винтового транспортера, может использоваться для очистки зерна от легких примесей.

2. Теоретическими исследованиями обоснована конструктивно-технологическая схема пневмовинтовой установки с устройством для удаления легких примесей. Получены аналитические выражения и установлено влияние конструктивных и режимных параметров на производительность, приводную мощность и энергоемкость пневмовинтовой установки. Предлагаемая пневмовинтовая установка по отношению к винтовому конвейеру увеличивает производительность на 40...45%.

3. Экспериментальными исследованиями подтверждено, что всасывающий воздушный поток вдоль оси шнека позволяет увеличить производительность пневмовинтовой установки в 1,4...1,45 раза. Максимальная производительность 2,87 кг/с для шнека диаметром 90 мм достигается при частоте вращения 1050...1150 об/мин и скорости воздушного потока 9,6 м/с. Наименьшую энергоемкость обеспечивает режим работы со скоростью воздушного потока 6,2...6,6 м/с, при этом производительность составляет 2,56 кг/с, энергоемкость – 178,9 Дж/кг. Рекомендуемое значение коэффициента шага шнека при данной скорости воздушного потока составляет 1,1...1,15.

4. В результате исследований влияния скорости воздушного потока и конструктивных параметров окна в кожухе установлены значения, при которых происходит эффективное выделение легких примесей из зерновой массы: ско-

рость воздушного потока $v = 5,5 \dots 5,9$ м/с; площадь окна $0,03 \dots 0,04$ м². Содержание легких примесей в зерне после транспортирования не превышает 0,2 г/кг.

5. При использовании пневмовинтовой установки для транспортирования зерна, в сравнении с существующим винтовым конвейером получен годовой экономический эффект 44650 рублей в ценах на 25.08.2015 года, срок окупаемости дополнительных капиталовложений составит 0,97 года. Применение пневмовинтовой установки с устройством для удаления легких примесей на выгрузке зернового вороха получен годовой экономический эффект в размере 8125 рублей, срок окупаемости дополнительных капиталовложений составляет 1,4 года.

Рекомендации производству

1. При внедрении пневмовинтовой установки необходимо определить диаметр шнека и скорость воздушного потока в соответствии с требуемой производительностью. Скорость воздушного потока должна составлять $5,5 \dots 6,5$ м/с. По полученным зависимостям определяется необходимое разряжение в кожухе шнека, мощность для привода шнека и вентилятора.

2. При использовании предлагаемой установки для выгрузки из бункера или емкостей для хранения следует провести расчет экономических показателей с учетом загрязненности зерна легкими примесями, удаленности полей и объема зерна.

Перспективы дальнейшей разработки темы

1. Исследовать и обосновать параметры загрузочного и разгрузочного устройств пневмовинтовой установки с целью дальнейшего повышения производительности и эффективности выделения легких примесей из зерновой массы.

2. Для расширения области применения пневмовинтовой установки с устройством для удаления легких примесей необходимо исследовать процессы транспортирования других видов сыпучих грузов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Овчинникова, Т.В. Результаты исследований производительности и мощности привода пневмовинтовой установки / Т.В. Овчинникова, П.И. Павлов // Научное обозрение. – 2014. - № 10. – с. 18-20.

2. Овчинникова, Т.В. Результаты экспериментальных исследований влияния шага шнека и скорости воздушного потока на производительность и суммарную мощность привода пневмовинтовой установки / Т.В. Овчинникова, П.И. Павлов // Научное обозрение. – 2015. - № 8 – с. 10-23.

3. Овчинникова, Т.В. Экспериментальное исследование выделения примесей пыли при транспортировании зерна шнеком с пневмосистемой / Т.В. Овчинникова, П.И. Павлов // Научное обозрение. – 2015. - №16. – с. 23...25.

Публикации в других изданиях

4. Пат. № 91989 Российская Федерация, МПК В65G 53/48. Пневмовинтовая установка / Павлов П.И., Салихов А.Н., Овчинникова Т.В.; № 2009139457/22; заявл. 26.10.2009; опубл. 10.03.2010, бюл. № 7. – 1 с.: ил.

5. Овчинникова, Т.В. Пневмовинтовая установка для транспортировки зерна с удалением примесей пыли / Т.В. Овчинникова // Вавиловские чтения – 2009: Материалы Межд. науч.- практ. конф. – Саратов: Изд-во «КУБиК», 2009. – с 318.

6. Овчинникова, Т.В. Теоретическое исследование выделения примесей пыли из зерна подачей воздушного потока в выгрузной шнек / П.И. Павлов, Т.В. Овчинникова // Новые технологии и технические средства в АПК: Материалы Международной конференции, посвященной 105-летию со дня рождения профессора Красникова В.В. – Саратов: «Буква», 2013. – с. 143...145

7. Пат. № 107517 Российская Федерация, МПК В65G 53/48. Пневмовинтовой конвейер / Павлов П.И., Салихов А.Н., Овчинникова Т.В. Мигунов И.А., Миленко Р.С.; № 2011114497/11; заявл. 13.04.2011; опубл. 20.08.11, бюл. № 23. – 2 с.: ил.

8. Овчинникова, Т.В. Экспериментальное исследование энергоемкости транспортирования зерна пневмовинтовой установкой / Т.В. Овчинникова, П.И. Павлов // Научная мысль. – 2015. - №3. – с. 127...130

Подписано в печать .02.16
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Печать RISO
Объем 1,0 печ. л. Тираж 100 экз.

Отпечатано в ГУП «Типография №6»,
г. Саратов, ул. Московская, 72, строение 5.
Тел. 30-99-77. Заказ 3496.