

УДК 621.6.04

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СУХИХ СЫПУЧИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Родионов Ю.В., Капустин В.П., Кобелев А.В., Никитин Д.В., Платицин П.С.

В статье обоснована принципиальная схема вакуумного транспортирования сыпучих растительных материалов. Отличительной особенностью предложенной схемы является использование энергоэффективной модернизированной конструкции жидкостнокольцевого вакуумного насоса, позволяющего автоматически проводить корректировку режима работы при смене транспортируемого материала. Предложена методика проектирования системы вакуумного транспортирования сухих сыпучих растительных материалов в режиме сплошного слоя для предприятий агропромышленного комплекса. Приведен расчет вакуум-транспортной системы для предприятия ООО «Рассказовское» Тамбовской области. Разработанная установка обеспечивает транспортирование широкого спектра сухих растительных материалов с высокой производительностью и минимальными удельными энергозатратами.

Ключевые слова: растительные материалы, жидкостнокольцевой вакуумный насос, вакуум-транспортная установка, производительность, энергоэффективность.

Введение

Технология производства и обработки сыпучих растительных материалов складывается из целого ряда операций. К ним относятся: взвешивание исходного материала, разгрузка и загрузка грузовых автомобилей, предварительная очистка, вентилирование, временное хранение, сушка, первичная и вторичная очистки, сортирование, транспортировка зерна и отходов, взвешивание готовой продукции, длительное хранение в бункерах и складах, и другие технологические процессы. Для повышения производительности применяется поточная технология, в которой перечисленные операции выполняются последовательно за один проход. При этом применяются машины и средства механизации, включаемые в поточные линии предприятий. Поэтому любое современное предприятие агропромышленного комплекса в первую очередь решает задачи снижения трудоемкости и повышения эффективности транспортировки зерна, муки и других сыпучих растительных материалов, для своевременной и бесперебойной доставки в места использования. От типа используемого транспортного оборудования зависит сохранение качества сухого сыпучего растительного материала и эффективность производственного процесса. На предприятиях агропромышленного комплекса для перемещения материалов применяют зернопогрузчики, ленточные и винтовые транспортеры, зернометатели и пневматический транспорт [1, 3, 8].

Зернопогрузчики широко применяются в складах, открытых площадках, на железнодорожных станциях, а также используются в семяочистительных машинах и зерноочистительных-сушильных комплексах. Разделяют передвижные и самопере-

движные зернопогрузчики, отличающиеся типом передвижения и принципом работы. Недостатками зернопогрузчиков являются: травмируемость перемещаемого материала, низкие санитарно-гигиенические условия труда, ограниченное расстояние транспортирования [1, 6].

Стационарный ленточный транспортер представляет собой устройство непрерывного действия для перемещения в горизонтальном или наклонном направлении сыпучих растительных материалов. Ленточный транспортер состоит в основном из бесконечной ленты, огибающей два концевых барабана. Они бывают нескольких типов: надскладской, подскладской, реверсивный и двусторонний. Надскладской транспортер осуществляет перемещение зерна из одного места подачи, в любую точку, находящуюся на любом участке транспортера. Подскладской транспортер принимает зерно на протяжении своей трассы и выгружает в одной определенной точке. Реверсивный транспортер осуществляет прием зерна в середине ленты и сбрасывают его вправо или влево. Двусторонний транспортер позволяет принимать одновременно два типа материала на верхнюю и нижнюю ветви и осуществлять транспортировку в разные стороны. Сухой сыпучий растительный материал поступает на ленточный транспортер через приемное устройство и перемещается по ленте желобчатой формы. Недостатки: ограниченный угол подъема, высокая стоимость ленты и роликов, трудность при перемещении пылевидных грузов [1, 4, 5].

Отличительной особенностью зернометателей является принцип работы: перемещение материала осуществляется не путем переноса, а перебрасывается с места на место. Зернометатели бывают трех типов: дисковые, крыльчатые и ленточные. Ленточ-

ные зернометатели осуществляют переброс зерна с помощью непрерывной ленты, крыльчатые – благодаря крыльчатке, а дисковые – с помощью горизонтально расположенного диска. Применение зернометателей обеспечивает транспортировку зерна в те места, куда не возможно доставить с помощью обыкновенных зернопогрузчиков. Однако недостатков у этого оборудования гораздо больше: большая энергоемкость, образование облака пыли вокруг агрегатов во время работы, малая длина транспортировки – до 18 м [1, 7].

Для перемещения в горизонтальном, наклонном и вертикальном направлении зерна, муки, крупы часто применяют винтовые транспортеры. Он состоит из неподвижного желоба и винта, который при вращении сообщает поступательное движение материалу, загружаемого в желоб. Достоинства: простота монтажа и обслуживания, высокие санитарно-гигиенические условия, невысокая стоимость. Недостатки: ограниченная производительность и дальность транспортирования, сложность ремонта, разрушение перемещаемого материала, высокий расход энергии.

При пневматическом транспорте отпадает необходимость в аспирационных установках, улучшаются санитарно-гигиенические условия предприятия и уменьшается необходимая площадь для установки оборудования [2].

Одним из путей повышения эффективности механизации является внедрение вакуумных транспортных установок.

Использование вакуум-транспортных установок для перемещения сухих сыпучих растительных материалов имеет следующие преимущества:

- легкость монтажа и гибкость в эксплуатации;
- полная автоматизация управления и сокращение рабочего персонала;
- высокие санитарно-гигиенические условия и отсутствие технологических нарушений воздушной среды;
- значительная производительность и большой радиус действия в самых стесненных производственных условиях, т.е. используются площади, непригодные для других способов транспортировки;
- экономия производственной площади;
- полное отсутствием потерь перемещаемого материала;
- взрывобезопасность при перемещения мелкодисперсных растительных материалов.

Цель работы.

Снижение энергозатрат и повышение производительности транспортирования сухих сыпучих растительных материалов за счет применения вакуум-транспортной системы на основе жидкостнокольцевого вакуумного насоса с автоматическим регулируемым нагнетательным окном.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования научных исследований

является процесс транспортирования сыпучих растительных материалов с помощью вакуум-транспортной установки на основе жидкостнокольцевого вакуум-насоса с автоматическим регулируемым нагнетательным окном.

Концептуальным подходом при разработке вакуум-транспортной установки является универсализация режимов работы при перемещении сухих сыпучих растительных материалов, с минимальными затратами энергии и высокой производительностью.

Результаты и их обсуждение

Используя техническое задание, проводят конструктивный расчет проектируемой системы вакуумного транспорта и разрабатывают технологическую схему.

Предлагаемая схема проектируемой вакуум-транспортной установки представлена на рисунке 1. С помощью жидкостнокольцевого вакуум-насоса с автоматическим регулируемым нагнетательным окном (ЖВН АРО) 11 в трубопроводах 3,7 создается разрежение и сыпучий материал через питатель 2 поступает в циклон-разгрузитель 6 с определенной производительностью, где накапливается и впоследствии выгружается в бурт или другую емкость. Воздушный поток, проходящий через пылеуловитель 8, очищается от примесей и поступает в атмосферу, а пыль собирается в пылесборнике 9, где впоследствии утилизируется.

Особенность проектируемой установки заключается во включении в технологическую схему вакуумного транспортирования питателя непрерывного дозирования, в частности шнекового питателя, изготовленного из современных полимерных материалов (полиамид 6 и др.) с твердофазной технологий [9]. Подача сухого сыпучего растительного материала с помощью питателя является одним из основных факторов организации вакуумного транспортирования в режиме сплошного слоя. Изменение частоты вращения шнекового вала позволяет перенастраивать работу вакуумного транспорта на перемещение различных материалов. Изготовление из полимерных материалов корпуса и шнекового вала существенно уменьшает повреждение сухих сыпучих растительных материалов (что особенно важно для кукурузы и бобовых). Применение жидкостнокольцевого вакуум-насоса с автоматическим регулируемым нагнетательным окном (ЖВН) является вторым фактором организации вакуумного транспортирования в режиме сплошного слова, за счет стабилизации вакуумирования. Он позволяет унифицировать разрабатываемую вакуум-транспортную систему, перемещать широкий спектр сыпучих растительных материалов с максимальной производительностью и минимальными удельными энергозатратами [10, 11, 12].

Конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса с автоматическим регулируемым окном

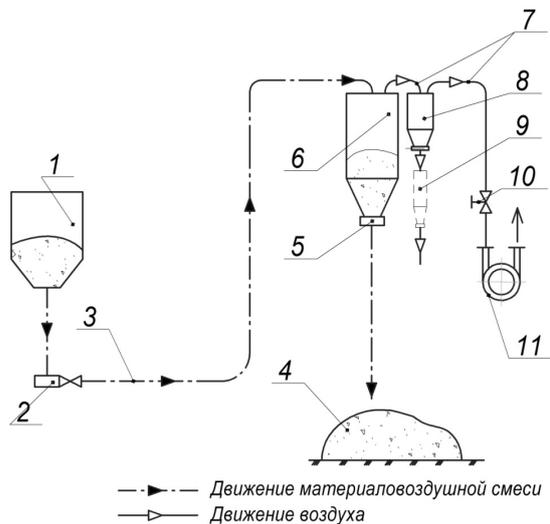


Рис. 1. Схема проектируемой вакуумной транспортной установки на базе жидкостнокольцевого вакуумного насоса с автоматическим регулируемым окном:

1 – бункер с транспортируемым сыпучим материалом; 2 – питатель; 3 – транспортный трубопровод; 4 – борт с сыпучим материалом; 5 – автоматическая заслонка; 6 – циклон-разгрузитель; 7 – воздушный трубопровод; 8 – пылеуловитель; 9 – пылеборник; 10 – пусковой кран; 11 – жидкостнокольцевой вакуум-насос с автоматическим регулируемым окном.

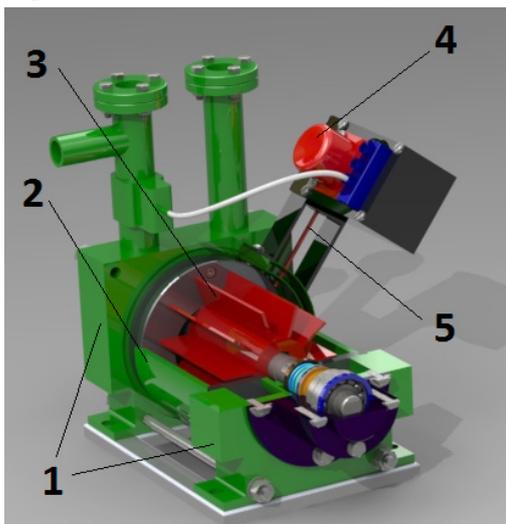


Рис. 2. Жидкостнокольцевой вакуум-насос с автоматическим регулируемым нагнетательным окном: 1 – боковые крышки; 2 – корпус; 3 – рабочее колесо; 4 – система управления заслонкой; 5 – заслонка

разработанная на кафедре «Техническая механика и детали машин» ФГБОУ ВО ТГТУ состоит из следующих элементов: корпуса 1, боковых крышек 2, эксцентрично расположенного рабочего колеса 3, системы управления 4 и заслонки 5 (рисунок 2) [13].

Автоматическое регулирование размера и положения нагнетательного окна позволяет получить минимальные энергозатраты на каждом режиме эксплуатации. Это достигается перемещением заслонки 4 которая, в зависимости от давления всасывания, изменяет положение и размер нагнетательного окна 3 и снижает давление сжатия на начальных

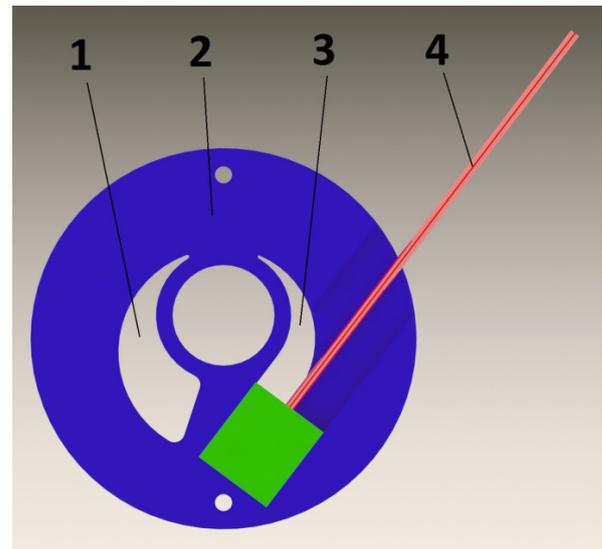


Рис. 3. Диск жидкостнокольцевого вакуумного насоса с автоматическим регулируемым нагнетательным окном: 1 – всасывающее окно; 2 – диск; 3 – нагнетательное окно; 4 - заслонка

режимах и давление обратных потоков на конечных режимах вакуумирования. Для автоматического регулирования предусмотрена система управления и механизм регулирования заслонкой 4 (рисунок 3) с программным обеспечением [14].

Для проектирования вакуум-транспортной системы на предприятиях агропромышленного комплекса необходимо знать требуемую производительность, которая обуславливается технологическим планом работы предприятия, включающего в себя следующие процессы: сбор урожая уборочными машинами, послеуборочная обработка, погрузка и разгрузка, а также другие виды технологических процессов. Требуемую производительность вакуум-транспортной системы определяют по следующей формуле:

$$G_m = \frac{1,1 \cdot 1000 \cdot q}{24 \cdot 60 \cdot 60},$$

где G_m – производительность вакуум-транспортной установки по твердому материалу, кг/с; q – удельная суточная плановая производительность предшествующего оборудования, т/сутки.

Алгоритм проектирования вакуум-транспортной системы осуществляем несколькими этапами.

На первом этапе проектирования определяется длина и траектория транспортного трубопровода $L_{тп}$: он условно делится на вертикальные, горизонтальные и наклонные участки, вычисляют их длины, а также определяют углы поворота трубопровода, что позволяют создать монтажную схему вакуумного транспорта.

По методике, изложенной в [15] определяется критическая скорость движения воздуха и материала по трубопроводам, и рассчитывается расход воздуха Q_v , необходимый для транспортирования материала сплошным потоком. По рассчитанному расходу воздуха выбирается жидкостнокольцевой вакуумный насос.

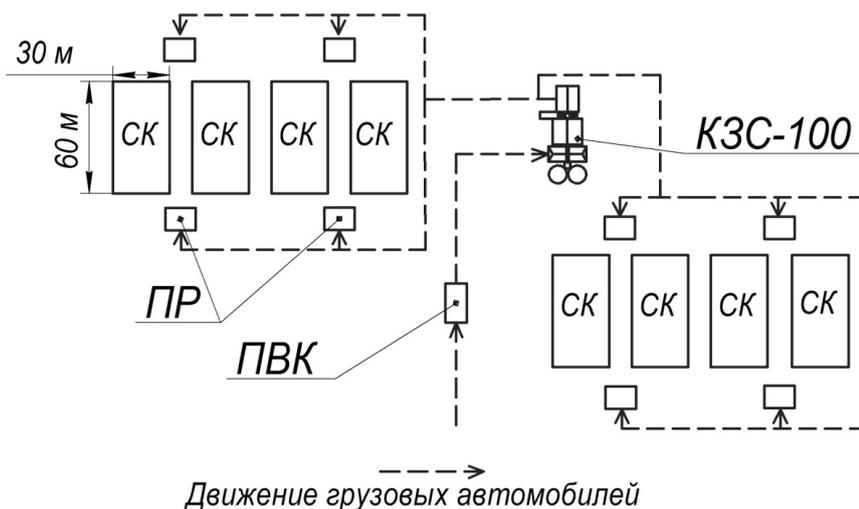
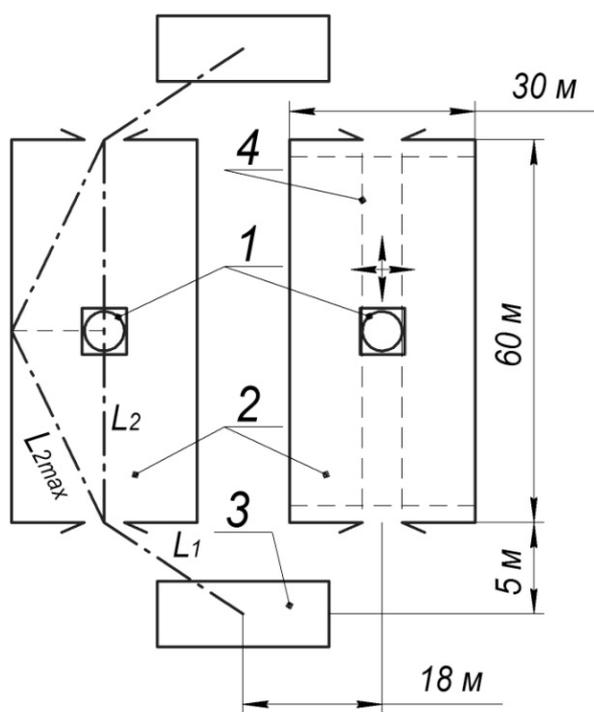


Рис. 4. Схема предприятия ООО «Рассказовское»: СК – склад; ПВК – пункт весового контроля; ПР – пункт разгрузки



Изменяемая траектория транспортного трубопровода

Рис. 5. Схема вакуум-транспортной системы для зернового склада:

1 – вакуум-транспортная установка; 2 – зерновой склад; 3 – пункт разгрузки; 4 – рельсовый путь

Второй этап расчета состоит в подборе необходимого технологического оборудования (циклон-разгрузитель, фильтр и т.д.) [17]. Определяются диаметры воздушного $d_{вТ}$ и транспортного трубопровода $d_{тТ}$ и потери давления в них, а также в технологическом оборудовании Δp . Расчет ведется по методике, изложенной в [15].

Выполняется проверка расхода воздуха в конце воздушного трубопровода и сравнивается с техни-

Таблица 1 – Основные параметры вакуум-транспортной системы

Параметр	Обозначение	Значение
Средняя плановая производительность КЗС-100	q	1000 т/сутки
Массовая производительность для вакуум-транспортной установки	G_m	13 кг/с
Производительность (быстрота действия) жидкостнокольцевого вакуум-насоса	S_d	530 м ³ /ч
Длина транспортного трубопровода	$d_{тТ}$	53 м
Диаметр транспортного трубопровода	$d_{вТ}$	180 мм

ко-эксплуатационными характеристиками выбранного вакуум-насоса [15]:

$$Q_v = \frac{G_m \cdot u_{кр}^2}{2 \cdot p} \leq S_{\phi}(p) ,$$

где $S_{\phi}(p)$ – фактическая быстрота действия (производительность) при полученном давлении всасывания, м³/с.

После окончательного выбора ЖВН подбирается и рассчитывается тип дозатора-питателя [16, 17].

Для энергоэффективного использования вакуум-транспортной установки при переходе на другой сухой сыпучий растительный материал необходимо проводить переналадку за счет изменения подачи питателя, которая основана на следующем условии:

$$\frac{m_{к1}}{\rho_{M1}} = \frac{m_{к2}}{\rho_{M2}} ,$$

где $m_{к1}$, ρ_{M1} – массовая концентрация и плотность эталонного материала; $m_{к2}$, ρ_{M2} – массовая концентрация и плотность материала, на перемещение которого перенастраивается оборудование.

На основании предложенной методики проведен расчет вакуум-транспортной системы для отделения ООО «Рассказовское», находящееся в селе Котовское Тамбовской области (рисунок 4).

Данное отделение занимается возделыванием и переработкой следующей сельскохозяйственной продукции – озимая пшеница, яровая пшеница, соя, горох, подсолнечник, кукуруза и прочие. На предприятии используется зерносушильный комплекс КЗС-100, зерновой материал после которого транспортируется с помощью грузовых автомобилей на пункт разгрузки (ПР). Для увеличения заполняемости зерновых складов (СК) необходимо спроектировать вакуум-транспортную систему, позволяющую транспортировать сухой сыпучий растительный материал непосредственно на склады.

Вакуум-транспортная установка перемещается по рельсовому пути в горизонтальной плоскости зернового склада, при этом, для увеличения производительности транспортирования забирают материал из нескольких пунктов разгрузки поочередно (рисунок 5). В этом случае максимальная длина транспортного трубопровода определяется как (с учетом высоты расположения установки – 5 м):

$$L_{\text{ТТ}} = L_1 + L_{2\text{max}}$$

Физико-механическим параметрам озимой пшеницы присвоены индексы 1, яровой пшенице – 2, сое – 3, гороху – 4, подсолнечнику – 5, кукурузе

– 6. В расчетах принято, что максимальные плотности растительных материалов имеют следующие значения: $\rho_1 = 850 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2 = 850 \text{ кг/м}^3$, $\rho_3 = 720 \text{ кг/м}^3$, $\rho_4 = 750 \text{ кг/м}^3$, $\rho_5 = 420 \text{ кг/м}^3$, $\rho_6 = 820 \text{ кг/м}^3$.

Производительность КЗС-100 для культур различна и зависит от плотности, влажности, количества примесей и т.д. Принято, что $q_1 = 1000 \text{ т/сутки}$, $q_2 = 1000 \text{ т/сутки}$, $q_3 = 1000 \text{ т/сутки}$, $q_4 = 750 \text{ т/сутки}$, $q_5 = 500 \text{ т/сутки}$, $q_6 = 500 \text{ т/сутки}$. Поступление зернового материала от КЗС-100 до пункта разгрузки является непрерывным, поэтому производительность вакуум-транспортной установки должна быть равна или больше производительности КЗС-100.

Полученные основные характеристики вакуум-транспортной системы и сведены в таблицу 1.

Выводы

1. Дано обоснование использования вакуум-транспортной системы для перемещения сухих сыпучих растительных материалов в режиме сплошного слоя на предприятиях агропромышленного комплекса.

2. Предложены основные этапы методики проектирования вакуум-транспортной системы сухих сыпучих растительных материалов для предприятий агропромышленного комплекса.

3. Приведены результаты расчета вакуум-транспортной системы для предприятия ООО «Рассказовское» Тамбовской области

Список литературы

- [1] Тарасенко, А. П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян. – М.: КолосС, 2008. – 232 с.
- [2] Вайсман, М. Р. Грубиян И. Я. Вентиляционные и пневмотранспортные установки. – М.: Колос, 1984. – 367 с.
- [3] Курочкин, А. А. Дипломное проектирование по механизации переработки сельскохозяйственной продукции. / А. А. Курочкин, И. А. Спицын, В. М. Зимняков и др. Под ред. А. А. Курочкина. – М.: КолосС, 2006. – 424 с.
- [4] Оборудование перерабатывающих производств / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, В. М. Зимняков, П. К. Воронина. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 363.
- [5] Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, А. С. Гордеев, А. И. Завражнов. – М.: КолосС, 2007. – 591 с.
- [6] Байкин, С. В. Технологическое оборудование для переработки продукции растениеводства / С. В. Байкин, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, А. С. Афанасьев. Под ред. А. А. Курочкина. – М.: КолосС, 2007. – 445 с.
- [7] Курочкин, А. А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств / А. А. Курочкин, В. М. Зимняков. Под ред. А. А. Курочкина. – М.: КолосС, 2006. – 320 с.
- [8] Основы проектирования и строительства перерабатывающих предприятий / А. С. Гордеев, А. И. Завражнов, А. А. Курочкин и др. Под ред. А. И. Завражного. – М.: Агроконсалт, 2002. – 492 с.
- [9] Baronin G. S., Zavrazhin D. O., Kobzev D. E., Khudyakov V. V., Mescheryakova Y. V., Buznik V. M., Yurkov G. Y., Ashmarin A. A., Biryukova M. I., Fionov A. S., Ovchenkov E. A. Study of Structure and Properties of Polymer Composites Based on Polytetrafluoroethylene and Cobalt Nanoparticles. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2015. Т. 6. № 2. С. 179–186.
- [10] Родионов, Ю. В. Применение жидкостнокольцевых вакуум-насосов в процессах пневмотранспортирования / Ю. В. Родионов, П. С. Платицин, Э. С. Иванова // *Материалы международной научно-практической конференции 30 ноября 2015 г.: Современное общество, образование и наука*. Ч. 6. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015 – С. 59–61.

- [11] Родионов Ю. В. Применение термоаккумуляторов в жидкостнокольцевых вакуумных насосах / Ю. В. Родионов и др. //Материалы международной научно-практической конференции 30 сентября 2015 г: Современное общество, образование и наука.–Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015–С. 106–107.
- [12] Современные перспективы совершенствования и использования жидкостнокольцевых вакуум-насосов /Ю.В. Родионов [и др.] //Nauka: teoria i praktzka–2012: materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. Volume 12. Techniczne nauki.–Przemysł. Nauka i studia, 2012.–С. 30–33.
- [13] Пат. 2303166 Российская Федерация, МПК F04C15/00. Жидкостно-кольцевая машина с автоматическим регулированием проходного сечения нагнетательного окна / Волков А. В., Воробьев Ю. В., Никитин Д. В., Попов В. В., Родионов Ю. В., Свиридов М. М.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Тамб. гос. техн ун-т.– № 2005116616/06; заявл. 31.05.2005; опубл. 20.07.2007, Бюл. № 20.– 6 с.
- [14] Родионов, Ю. В. Система управления жидкостнокольцевым вакуум-насосом с автоматическим регулированием проходного сечения нагнетательного окна / Ю. В. Родионов, И. А. Елизаров, Д. В. Никитин //Прогрессивные технологии развития: сб. материалов 4-й Междунар. науч.–практ. конф.–Тамбов, 2007.–С. 118–121.
- [15] Родионов, Ю. В. Особенности расчета технологии вакуумного транспортирования сухих сыпучих растительных материалов в режиме сплошного слоя / Ю. В. Родионов и др. // Наука в центральной России.– 2016.– № 6 (24).–С. 54–65.
- [16] Курочкин, А. А. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера /А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, П.К. Воронина//Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.– 2015.– № 4 (32).–С. 172–177.
- [17] Володин Н.П. Справочник по аспирационным и пневмотранспортным установкам / Н.П. Володин, М.Г. Касторных, А.И. Кривошеин.–М.: Колос, 1984.– 288 с.

EFFICIENCY INCREASE OF TRANSPORTATION OF DRY VEGETABLE BULK MATERIALS

Rodionov Yu.V., Kapustin V.P., Kobelev A.V., Nikitin D.V., Platitsin P.S.

The main mechanism of vacuum transportation of vegetable bulk materials is considered. The peculiarity of this mechanism is energy-efficient up-to-date design of a liquid ring vacuum pump which allows to automatically correct the operating regime in case a transported material is changed. Methods for designing the system of vacuum transportation of dry vegetable bulk materials in the form of a continuous layer are suggested for the agro-industrial complex. The calculation of the vacuum transportation system for the public company “Rasskazovskoye” (the Tambov region) is made. The given device facilitates transportation of a great variety of dry vegetable materials with a high productivity and minimum energy consumption.

Keywords: *vegetable materials, liquid ring vacuum pump, productivity, vacuum transportation device, energy efficiency.*

References

- [1] Tarasenko, A. P. Sovremennye mashiny dlya posleuborochnoj obrabotki zerna i semyan [Modern devices for postharvest handling of corn and seeds]. М.: Kolos, 2008.– 232 p.
- [2] Vajsman, M.R. & Grubiyar, I.YA. Ventilyacionnye i pnevmotransportnye ustanovki [Ventilating and pneumatic units]. М.: Kolos, 1984.–367 p.
- [3] Kurochkin, A. A. Graduate design for mechanization of processing of agricultural products / A. A. Kurochkin, I. A. Spitsyn, V. M. Zimnyakov and etc. Under the editorship of A. A. Kurochkin.–М.: KolosS, 2006.– 424 p.
- [4] Hardware processing industries /A.A. Kurochkin, G. V. Shaburova, V. M. Zimnyakov, P. K. Voronina.–М.: INFRA-M, 2015.– 363 p.
- [5] Equipment and automation of processing manufactures /A. A. Kurochkin, G. V. shaburova, A. S. Gordeev, A. I. Zavrazhnov.–М.: Colossus, 2007.– 591 p.
- [6] Baiken, S. V. Technological equipment for processing of crop production / S. V. Baiken, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, A. S. Afanasyev. Under the editorship of A. A. Kurochkin. Moscow: KolosS, 2007.– 445 p.
- [7] Kurochkin, A. A. Fundamentals of calculating and designing machines and devices of food processing

- industry /A. A. Kurochkin, V.M. Zimnyakov. Under the editorship of A.A. Kurochkin.–M.: KolosS, 2006.–320 p.
- [8] Fundamentals of design and construction of processing plants /A. S. Gordeev, A.I. Zavrazhnov, A.A. Kurochkin etc. Under the editorship of A. I. Zavrazhnov.–M.: Agrokonsalt, 2002.–492 p.
- [9] Baronin G.S., Zavrazhin D.O., Kobzev D.E., Khudyakov V.V., Mescheryakova Y.V., Buznik V.M., Yurkov G.Y., Ashmarin A.A., Biryukova M.I., Fionov A.S., Ovchenkov E.A. Study of Structure and Properties of Polymer Composites Based on Polytetrafluoroethylene and Cobalt Nanoparticles. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2015, V. 6, Issue 2.–P. 179–186.
- [10] Rodionov, Yu.V., P.S. Platitsin & A.S. Ivanova. Primenenie zhidkostnokol'cevyh vakuum-nasosov v processah pnevmotransportirovaniya [Liquid ring vacuum pumps for pneumatic transportation]. *Sovremennoye obshchestvo, obrazovanie i nauka [Modern society, education and science]*. Part 6. Tambov: Pс «Konsaltingovaya kompaniya Yukom», 2015.–P. 59–61.
- [11] Rodionov, Yu.V. et al. Primenenie termoakkumulyatorov v zhidkostnokol'cevyh vakuumnykh nasosakh [Thermal accumulators in liquid ring vacuum pumps]. *Sovremennoye obshchestvo, obrazovanie i nauka [Modern society, education and science]*. Tambov: Pс «Konsaltingovaya kompaniya Yukom», 2015. P. 106–107.
- [12] Rodionov, Yu.V. et al. Sovremennye perspektivy sovershenstvovaniya i ispol'zovaniya zhidkostnokol'cevyh vakuum-nasosov [Modern perspectives of improving and using liquid ring vacuum pumps]. *Nauka: teoriya i praktika [Science: theory and practice]*. Volume 12. Przemysl. Nauka i studia, 2012.–P. 30–33.
- [13] Volkov, A.V., Vorob'ev, Yu.V., Nikitin, D.V., Popov, V.V., Rodionov, YU.V., Sviridov, M.M. Liquid ring vacuum pumps with the automatic control of the delivery outlet area of passage. RU Patent 2303166, МПК F04C15/00, filed May 31, 2005, and issued July 20, 2007.
- [14] Rodionov, Yu.V., Elizarov, I.A., Nikitin, D. V. Sistema upravleniya zhidkostnokol'cevyim vakuum-nasosom s avtomaticheskim regulirovaniem prohodnogo secheniya nagnetatel'nogo okna [System of controlling a liquid ring vacuum pump with the automatic control of the delivery outlet area of passage]. *Progressivniye tehnologii razvitiya [Progressive development technologies]*. Tambov, 2007. P. 118–121.
- [15] Rodionov, Yu.V. et al. Osobennosti rascheta tekhnologii vakuumnogo transportirovaniya suhih sypuchih rastitel'nykh materialov v rezhime sploshnogo sloya [Design principles of technologies for vacuum transportation of dry vegetable bulk materials in the form of a continuous layer]. *Nauka v tsentralnoy rossii [Science in central Russia]*, 2016. Issue 6 (24). P. 54–65.
- [16] Kurochkin, A.A. Determination of main parameters of the upgraded vacuum chamber of the extruder / A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, P.K. Voronina//*Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural Academy*.– 2015.– № 4 (32).–P. 172–177.
- [17] Volodin, N.P., Kastornyyh, M.G. & Krivishein, A.I. Spravochnik po aspiracionnym i pnevmotransportnym ustanovkam [Reference book on aspiration and pneumatic units]. M.: Kolos, 1984.–288p.