

УДК 621.521

## ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ СЫПУЧИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

**Михаил Сергеевич Блохин**<sup>1</sup>

аспирант

**Сергей Иванович Данилин**<sup>1</sup>

кандидат сельскохозяйственных наук, профессор

[danilin.7022009@mail.ru](mailto:danilin.7022009@mail.ru)

**Дмитрий Вячеславович Никитин**<sup>1,2</sup>

кандидат технических наук, доцент

[dmitryndv@gmail.com](mailto:dmitryndv@gmail.com)

<sup>1</sup>Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

<sup>2</sup>Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

**Аннотация.** В статье обоснована актуальность проблемы развития вакуумного пневмотранспорта. Описана принципиальная схема и основные параметры пневмотранспортных систем. Обоснован выбор жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН), как средство создания вакуума, а также представлены его основные преимущества. Проведён эксперимент по подбору оптимальных характеристик ЖВН для систем вакуумного транспорта, а также предложена система пневмотранспортирования с использованием ЖВН.

**Ключевые слова:** пневмотранспорт, вакуумные технологии, жидкостнокольцевой вакуумный насос.

**Введение.** В настоящее время в сельском хозяйстве непрерывно увеличивается объём производства сухих сыпучих растительных материалов. В следствии этого возникает необходимость разработки и совершенствования систем, предназначенных для их транспортирования. Такие системы должны соответствовать требованию высокой надёжности доставки сыпучих материалов для последующей переработки. Поэтому большое распространение получили установки для вакуумного транспортирования (ВТ) [1].

На данный момент ВТ уже активно используется во всём мире и с их помощью перемещаются зерновые и зернобобовые культуры, мука, крупы, сахар и многое другое. Таким образом, за время развитие вакуумного пневмотранспорта он получил широкое распространение во многих отраслях сельского хозяйства, поскольку он обладает существенными преимуществами, такими как экологическая чистота, простота технологических схем, малогабаритность, непрерывность транспортирования, возможность доставки материала по сложной траектории и другими.

Недостатком системы вакуумного транспортирования является высокий удельный расход энергии на единицу массы перемещаемого материала, которые могут превышать расход энергии большинства механических транспортных установок в несколько раз, поскольку ВТ в реальных условиях функционирует в режимах, существенно отличающихся от рассчитанных.

#### **Объекты и методы их исследования.**

Важными параметрами при исследовании пневмотранспортных установок являются параметры движения материаловоздушной смеси. Одним из таких параметров является массовая концентрация  $M$ , то есть масса воздуха, которая необходима, чтобы переместить единицу массы материала.

$$M = \frac{G_M}{G_B}, \quad (1)$$

где  $G_M$  – производительность по твердому материалу, кг/с;  $G_B$  – массовый расход воздуха, кг/с.

Основными параметрами, характеризующими вакуум-транспортную систему являются: производительность по твердой фазе,  $G_M$ , кг/ч; массовый расход транспортирующего воздуха,  $G_B$ , кг/ч; длины транспортного  $L_{ТТ}$  и воздушного  $L_{ВТ}$  трубопроводов (или их приведенные длины, учитывающие местные сопротивления), м; диаметры транспортного  $d_{ТТ}$  и воздушного  $d_{ВТ}$  трубопроводов (или гидравлические диаметры для трубопроводов некруглого сечения), м; высота подъема  $H$ , м; концентрация перемещаемого материала,  $M$ ; давление в начале (для нагнетательного пневмотранспорта) и конце транспортного трубопровода (для вакуум-транспорта),  $P$ , кПа [4].

Исследования проводились на специально собранной по следующей схеме (рисунок 1) пневмотранспортной установке [2].

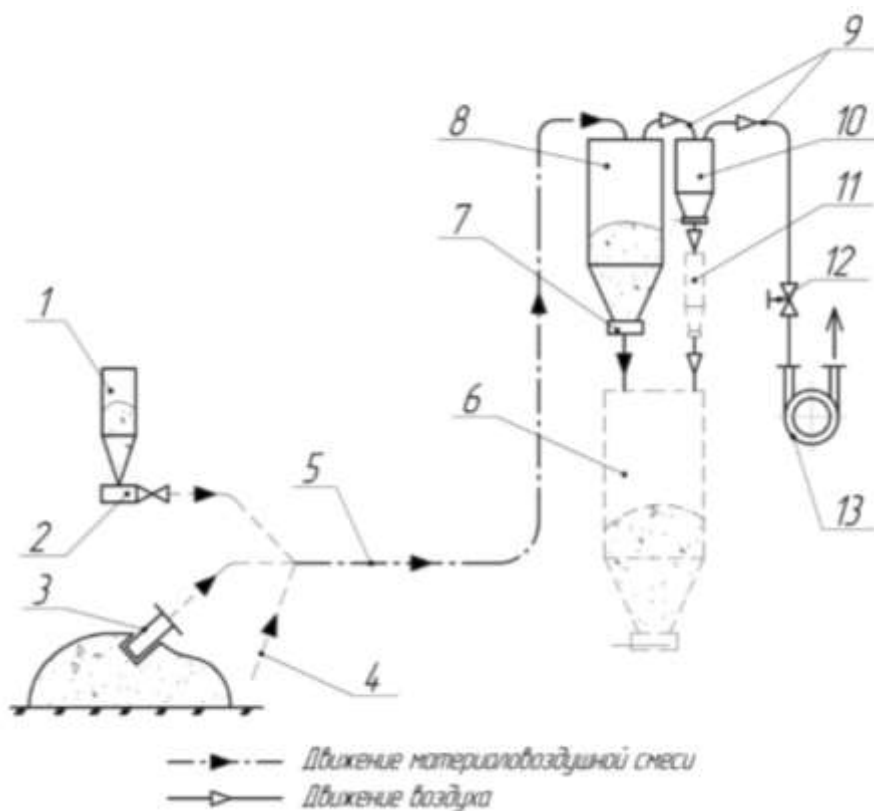


Рисунок 1 – Схема вакуумной транспортной установки на базе жидкостнокольцевого вакуумного насоса: 1 – заборный бункер; 2 – пневмовинтовой питатель; 3 – заборное сопло; 4 – заборный трубопровод; 5 – транспортный трубопровод; 6 – приемный бункер; 7 – затвор; 8 – циклон; 9 – воздушный трубопровода; 10 – пылеуловитель; 11 – пылесборник; 12 – пусковой кран; 13 – жидкостнокольцевой вакуум-насос.

**Результаты и их обсуждение.** Наиболее важным параметром вакуум-транспортной установки является производительность вакуумного насоса. Экспериментально было выяснено, что для получения максимальной производительности вакуум-насоса необходимо на каждом режиме остаточного давления, а также при определённом размере и положении нагнетательного окна подбирать необходимое количество дополнительно подаваемой рабочей жидкости (таблица 1).

*Таблица 1*

Оптимальные значения эксплуатационных характеристик ЖВН  
при различных остаточных давлениях

Остаточное давление, кПа	5	20	35	50	65
Размер нагнетательного окна, мм <sup>2</sup>	309,6	309,6	209,4	63,2	112,5
Количество подаваемой дополнительной жидкости, л/ч	60	103	144	103	144
Минимальная удельная мощность, кВт · с/м <sup>3</sup>	113,9	190,1	303,9	570,9	1729,6

Поэтому целесообразнее всего создавать установку на базе ЖВН с регулируемым нагнетательным окном и возможностью регламентированной подачи дополнительной рабочей жидкости [3, 5, 6].

На основании этих данных предлагается следующая вакуум-транспортная установка (рисунок 2), которая состоит из транспортного 5 и воздушного 9 трубопроводов, технологического оборудования, такого как циклон 8 и пылеуловитель 10, жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН) с автоматическим регулированием нагнетательного окна 15 и необходимого для корректного запуска вакуумного насоса и изменения подачи газовой фазы пускового крана 12.

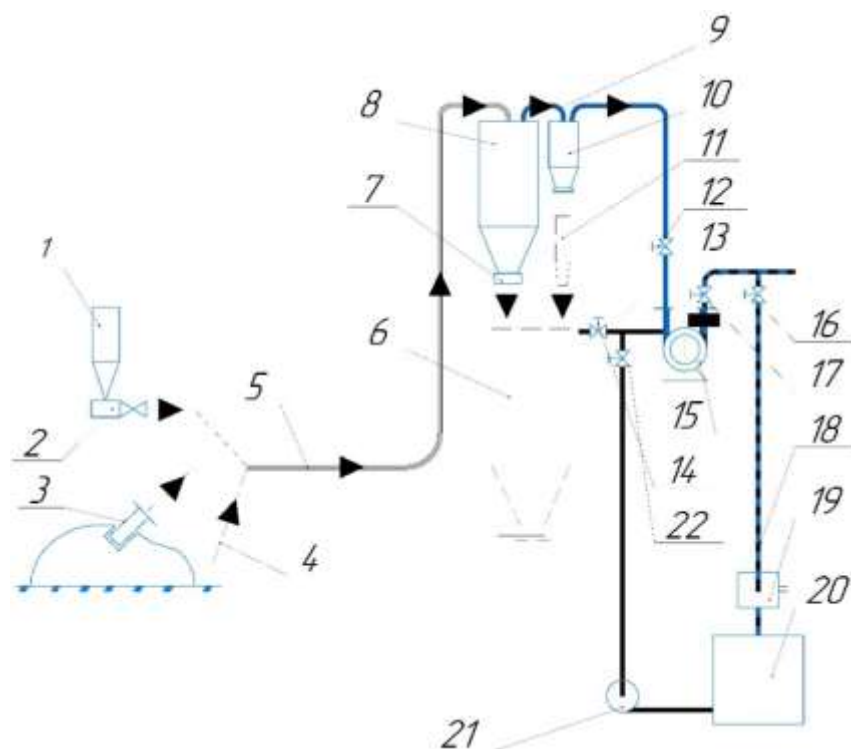


Рисунок 2 – Принципиальная схема предлагаемой вакуум-транспортной установки: 1 – заборный бункер; 2 – пневмовинтовой питатель; 3 – заборное сопло; 4 – заборный трубопровод; 5 – транспортный трубопровод; 6 – приемный бункер; 7 – затвор; 8 – циклон; 9 – воздушный трубопровода; 10 – пылеуловитель; 11 – пылесборник; 12,14,16,17,22 – краны; 13, 18 – трубопроводы, 15 – ЖВН, 19 – теплоаккумулятор, 20 – чиллер, 21 – насос для подачи воды.

Сухой сыпучий растительный материал может поступать в транспортный трубопровод одним из трёх способов:

- через питатель 2 из бункера 1;
- через заборное сопло 3 из бурта;
- из заборного трубопровода 4 непосредственно.

Нагрев рабочей жидкости будет приводить к падению производительности насоса. Поэтому необходимо отводить и охлаждать эту жидкость. Для чего разработанная система из трубопровода 18, теплоаккумулятора 19, чиллера 20, в котором непосредственно будет происходить охлаждение, и насоса 21, осуществляющего циркуляцию рабочей жидкости в данной системе.

Бункер 6 и пылесборник 11 включаются в состав вакуум-транспортной установки по необходимости.

**Заключение.** На основании анализа и обзора существующих конструкций, была предложена установка для транспортирования сухих материалов на основе разработанной экспериментальной модели. Для создания вакуума в предложенной установке используется жидкостнокольцевой вакуумный насос с возможностью автоматического регулирования нагнетательного окна модели ЖВН 12 АРО. Внедрение данной установки позволит интенсифицировать процесс транспортировки сухих сыпучих растительных материалов и при этом сократить энергозатраты на процесс вакуумирования за счет конструктивных особенностей ЖВН.

### **Список литературы:**

1. Вишня Б.Л., Дроздов Б.С., Стефаненко В.Т. Пневмотранспорт. Расчёты, схемы, оборудование. Екатеринбург, 2010. 31 с.
2. Особенности расчета технологии вакуумного транспортирования сухих сыпучих растительных материалов в режиме сплошного слоя / П. С. Платицин, Ю. В. Родионов, В. П. Капустин, Д. В. Никитин // Наука в центральной России. 2016. № 6(24). С. 54-65.
3. Патент № 2492359 С2 Российская Федерация, МПК F04C 7/00, F04C 14/10, F04C 19/00. Жидкостно-кольцевая машина : № 2011144961/06 : заявл. 07.11.2011 : опубл. 10.09.2013 / Р. Ю. Горбачев, М. Д. Гутенев, Д. В. Никитин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тамбовский государственный технический университет" (ФГБОУ ВПО ТГТУ), Общество с ограниченной ответственностью "Новые агрегаты вакуумной сушки" (ООО "Навакс").
4. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Колос, 2009. 760 с.
5. Родионов Ю.В., Елизаров И.А., Никитин Д.В. Система управления жидкостнокольцевым вакуум-насосом с автоматическим регулированием проходного сечения нагнетательного окна // Прогрессивные технологии

развития: материалы 4-й Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2007. С. 118-121.

6. Design of Liquid-Ring Vacuum Pump with Adjustable Degree of Internal Compression / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D. V. Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. № 5-6. P. 477-483. DOI 10.1007/s10556-021-00962-5.

**UDC 621.521**

## **TRANSPORTATION OF BULK PLANT MATERIALS USING LIQUID RING VACUUM PUMPS**

**Mikhail S. Blokhin<sup>1</sup>**

graduate student

**Sergey I. Danilin<sup>1</sup>**

Candidate of Agricultural Sciences, Professor

[danilin.7022009@mail.ru](mailto:danilin.7022009@mail.ru)

**Dmitry V. Nikitin<sup>1,2</sup>**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

[dmitryndv@gmail.com](mailto:dmitryndv@gmail.com)

<sup>1</sup>Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

<sup>2</sup>Tambov State Technical University

Tambov, Russia

**Annotation.** The article substantiates the urgency of the problem of the development of vacuum pneumatic transport. The schematic diagram and main parameters of pneumatic conveying systems are described. The choice of a liquid ring vacuum pump (LVP) as a means of creating a vacuum is substantiated, and its main

advantages are presented. An experiment was carried out to select the optimal characteristics of LVP for vacuum transport systems, and a pneumatic conveying system using LVP was proposed.

**Key words:** pneumatic transport, vacuum technologies, liquid ring vacuum pump.

Статья поступила в редакцию 16.05.2022; одобрена после рецензирования 20.06.2022; принята к публикации 30.06.2022.

The article was submitted 16.05.2022; approved after reviewing 20.06.2022; accepted for publication 30.06.2022.