

УДК 621.521

## ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ СЫПУЧИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Михаил Сергеевич Блохин**<sup>2</sup>

аспирант

**Валентин Сергеевич Титов**<sup>1</sup>

студент

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

кандидат технических наук, доцент

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

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

<sup>2</sup>Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, 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) [1-3].

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.**

Важным параметром при исследовании пневмотранспортных установок является движение материаловоздушной смеси, которое характеризуется массовой концентрацией  $M$ , то есть массой 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  $L_{TT}$  и воздушного  $L_{BT}$  трубопроводов (или их приведенные длины, учитывающие местные сопротивления), м; диаметры транспортного  $d_{TT}$  и воздушного  $d_{BT}$  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.

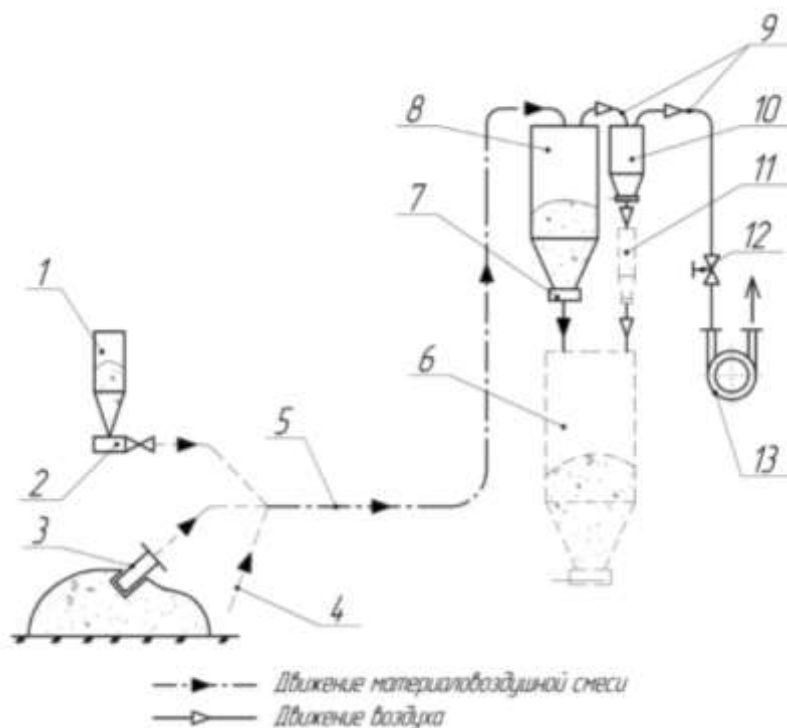


Рисунок 1 – Схема вакуумной транспортной установки на базе жидкостнокольцевого вакуумного насоса: 1 – заборный бункер; 2 – пневмовинтовой питатель; 3 – заборное сопло; 4 – заборный трубопровод; 5 – транспортный трубопровод; 6 – приемный бункер; 7 – затвор; 8 – циклон; 9 – воздушный трубопровод; 10 –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

Для исследования процессов пневмотранспортирования и дальнейшей разработки системы вакуум-транспорта было решено использовать жидкостнокольцевой вакуумный насос, поскольку такие насосы имеют ряд

неоспоримых преимуществ, например, простота, надёжность, низкий уровень шума, а также они могут откачивать газы, которые содержат капельную жидкость и пары, а также воспламеняющиеся, взрывоопасные, разлагающиеся и полимеризующиеся газы.

**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 и при определённом размере и положении нагнетательного окна подбирать количество подаваемой рабочей жидкости (таблица 1). Поэтому целесообразнее всего создавать установку на базе ЖВН с регулируемым нагнетательным окном.

*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

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. 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.

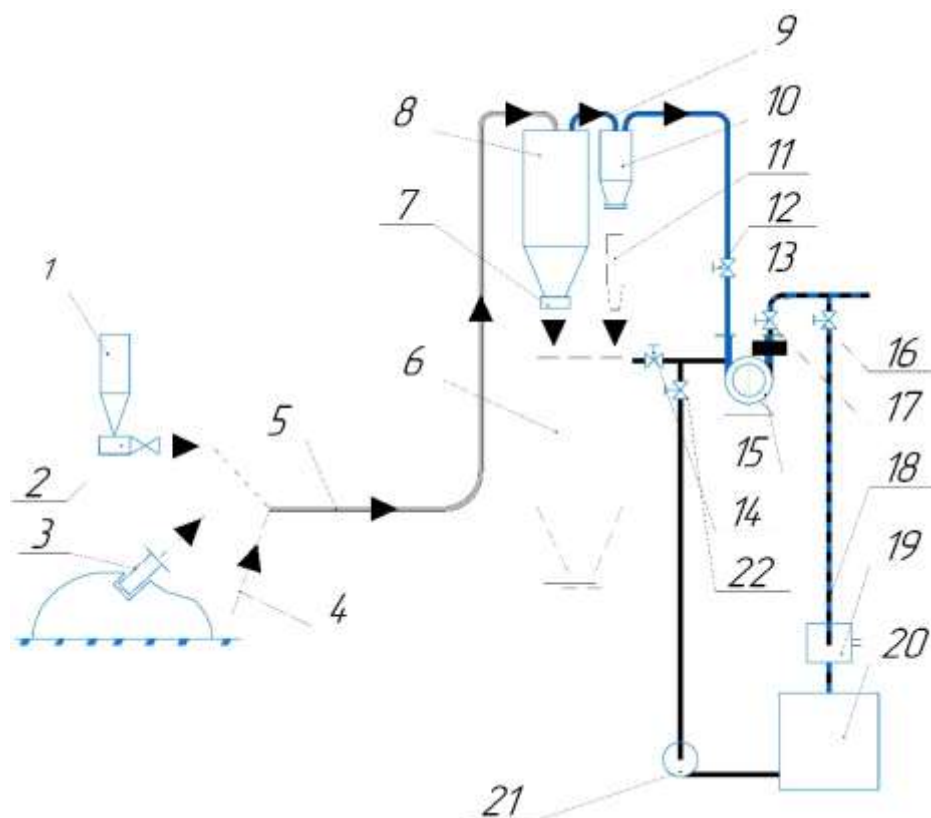


Рисунок 2 – Принципиальная схема предлагаемой вакуум-транспортной установки: 1 – заборный бункер; 2 – пневмовинтовой питатель; 3 – заборное сопло; 4 – заборный трубопровод; 5 – транспортный трубопровод; 6 – приемный бункер; 7 – затвор; 8 – циклон; 9 – воздушный трубопровода; 10 – пылеуловитель; 11 –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

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 при этом уменьшив затраты на эту технологическую операцию.

#### **Список литературы:**

1. Вишня Б.Л., Дроздов Б.С., Стефаненко В.Т. Пневмотранспорт. Расчёты, схемы, оборудование. Екатеринбург, 2010. 31 с.
2. Патент 2303166 РФ. Жидкостно-кольцевая машина с автоматическим регулированием проходного сечения нагнетательного окна / А.В. Волков, Ю.В. Воробьев, Д.В. Никитин. 2007.
3. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Колос, 2009. 760 с.
4. 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.

UDC 621.521

## TRANSPORTATION OF BULK PLANT MATERIALS

**Mikhail S. Blokhin**<sup>2</sup>

graduate student

**Valentin S. Titov**<sup>1</sup>

student

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

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

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

<sup>1</sup>Tambov State Technical University

Tambov, Russia

<sup>2</sup>Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, 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.