

УДК 621.867.8

Существующие проблемы и пути их решения систем пневматической транспортировки в химической промышленности

Скорняков Владимир Михайлович^(*)

skornyakov@bmstu.ru

Иванов Александр Андреевич

7032773@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлен обзор современных научных статей и патентов, посвященных проблемам систем пневматической транспортировки сыпучих материалов в химической промышленности. На основе анализа рассмотренных источников выявлены ключевые проблемы, такие как износ трубопроводов, образование пыли и лент («волосы ангела») и низкая адаптивность систем к различным условиям транспортировки и материалам. Для каждой проблемы рассмотрены пути решения, предложенные в литературе, включая различные технологии для повышения эффективности работы и надежности систем. Обзор существующих проблем систем пневматической транспортировки позволяет систематизировать актуальные вызовы в сфере химической промышленности, а также продемонстрировать современные подходы к их решению.

Ключевые слова: пневматическая транспортировка, химическая промышленность, износ трубопроводов, пылеобразование, энергоэффективность, автоматизация

Введение. Системы пневматической транспортировки сыпучих материалов широко используются на предприятиях химической промышленности, обеспечивая эффективное перемещение сыпучих и порошкообразных материалов. Однако эксплуатация таких систем связана с рядом проблем, которые ограничивают массовую производительность и безопасность процесса. Так, износ трубопровода, образование полиэтиленовых лент и пыли в процессе транспортировки приводит к поломкам, внеплановым остановам и увеличению затрат на техническое обслуживание. Также стоит отметить, что проблема адаптивности системы пневматической транспортировки к различным транспортируемым материалам ограничивает универсальность системы. Обзор решений этих проблем необходим для систематизации накопленного опыта из научных статей и патентов с целью внедрения в производственную деятельность на предприятиях химической промышленности.

Проблема износа трубопроводов и образования полиэтиленовых лент в системах пневматической транспортировки. Проблема связана с износом трубопроводов, вызванным интенсивным трением частиц транспортируемого материала о внутренние стенки трубопровода. Это приводит к абразивному износу материала труб, особенно в зонах изгибов и при высоких скоростях потока, увеличивая эксплуатационные затраты на замену компонентов и снижая общую надежность системы. Кроме того, трение вызывает истирание самих гранул, что проявляется в образовании тонких нитевидных

отложений — лент или «волос ангела» — на стенках трубопровода. Эти отложения забивают линию, снижают эффективность транспортировки и приводят к потерям материала.

Путь решения, предложенный в работе [1], заключается в селективной конденсации влаги из транспортирующего газа на внутренней стенке трубопровода путем регулирования температуры линии с помощью установки для конденсационного отпуска (активные или пассивные элементы). Это формирует скользящую жидкую пленку, которая уменьшает трение частиц о стенки, предотвращая износ труб и истирание гранул.

В статье [2] проблема образования полиэтиленовых лент («волос ангела») в коленах трубопроводов решается путем оптимизации геометрических параметров поворотного колена для минимизации трения, нагрева и скольжения частиц материала о стенки, что приводит к снижению истирания гранул и образования лент. Разработана математическая модель процесса формирования лент, основанная на анализе динамики двухфазного потока (газ + твердые частицы), предложен алгоритм расчета оптимальной формы колена.

Проблема образования пыли в системах пневматической транспортировки. Проблема заключается в образовании пыли из-за высокой скорости потока, истирания частиц о стенки трубопровода и ударов материала. Это приводит к снижению эффективности процесса из-за потерь материала и дополнительным затратам на очистку. Длинные трубопроводы приводят к длительному отклику системы на изменения скорости транспортировки, что приводит к неконтролируемому накоплению пыли и пульсациям материала. Кроме того, отсутствие быстрого снижения скорости на конечном этапе транспортировки усиливает истирание и эмиссию пыли, особенно в процессах с ограниченным пространством для хранения.

Путь решения, предложенный в работе [3] — использование фильтрующего ресивера (filter receiver) как финальной стадии системы. Ресивер отделяет материал от транспортного газа (воздуха или азота) с помощью фильтров или циклонной сепарации, хранит малый объем материала (менее 1–2 мин на максимальной скорости) и обеспечивает быструю выгрузку (от минимальной к максимальной скорости за 3–30 с). Это позволяет снизить скорость материала, минимизируя истирание и образование пыли.

В статье [4] предлагается использование специального загрузочного устройства, которое разделяет потоки сыпучего материала и транспортирующего воздуха, снижая энергию взаимодействия и появление пыли. Ключевые элементы: разделитель потока (конус), обтекатель и эффект Коанда для перенаправления воздушного потока вдоль крышки бункера, что уменьшает концентрацию пыли в аспирационном воздухе на 35 %.

Проблема низкой адаптивности систем пневматической транспортировки к различным условиям и материалам. Проблема заключается в вариации геометрии частиц, плотности материала, утечек в трубах, уровней влажности, накопления грязи и пыли на фильтрах. Эти изменения требуют корректировок для восстановления требуемого режима. Ручная настройка

приводит к простоям системы, увеличению затрат на обслуживание, снижению производительности и рискам нестабильности на предприятиях химической промышленности. Системы не способны самостоятельно адаптироваться к переменам, что ограничивает их универсальность и эффективность в непрерывном режиме.

В работе [5] предложена автоматическая система настройки с программируемым электронным блоком управления (ECU), подключенным к сенсорам (расходомерам, датчикам насыпной плотности, давления, вибрации, акустики), размещенным на линиях транспортировки. ECU анализирует данные о плотности потока, частоте пульсаций и давлении газа, автоматически корректируя параметры (например, открытие клапанов). Это поддерживает требуемый поток транспортирующего газа без вмешательства оператора, минимизируя простои и обеспечивая адаптацию к материалам и условиям.

Путь решения, предложенный в работе [6] — автоматизированная система контроля fluid с саморегулирующимися клапанами давления (в режиме “no relieving”), контрольными органами (локальными или централизованными PLC), расходомерами и датчиками давления. Газ подается из нескольких источников через регулируемые линии в множественные точки вдоль трубопровода, поддерживая постоянный поток на основе данных. Контрольные органы регулируют параметры удаленно, адаптируя рабочие параметры под текущий транспортируемый материал и условия.

Заключение. Выполненный обзор научных статей и патентов демонстрирует, что проблемы систем пневматической транспортировки в химической промышленности, такие как износ трубопроводов, образование пыли и полиэтиленовых лент («волосы ангела»), а также низкая адаптивность к различным транспортируемым материалам, имеют ряд перспективных решений. Предложенные подходы позволяют повысить надежность и энергоэффективность процессов. Однако несмотря на теоретическую обоснованность и экспериментальные подтверждения этих методов, они в большинстве случаев не внедрены на предприятиях химической промышленности, что обусловлено необходимостью дополнительных исследований, адаптации под конкретные производственные условия и проведения технико-экономической оценки. Именно внедрение этих инновационных решений в реальные промышленные системы представляет собой ключевую перспективу развития систем пневматической транспортировки сыпучих материалов.

Список источников

- [1] Stark B., Dürr M., Vögele T. *Conveying system and method for pneumatically conveying plastic granulate*. Patent no. US 2021122587, USA, 2021.
- [2] Очков А.А., Скорняков В.М. Оптимизация геометрических параметров колена трубопровода в системах пневмотранспорта полиэтилена. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2024, № 4 (151), с. 82–95.
- [3] Snowdon E.R. *Pneumatic conveying apparatus*. Patent no. PL 3169615, Poland, 1984.

-
- [4] Семенов А.С. Снижение пылеобразования при пневмотранспортной загрузке порошкообразных материалов. *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*, 2018, № 4, с. 56–61. https://doi.org/10.12737/article_5ac31d7d349966.71461325
 - [5] Brewster D., Shaffer R., Rayburg M., Weber J., Nguyen M. *Automatic tuning system for pneumatic material conveying systems*. Patent no. 2021331877, USA, 2021.
 - [6] Congedi M., Westby P.M., Novelli F. *Fluid control system in pneumatic conveying ducts for powdered or granular material*. Patent no. US 2023150778, USA, 2023.
 - [7] Тарасов В.П., Тарасов А.В. Анализ особенностей нагнетающих систем пневмотранспорта с приводными питателями при их работе в переходных и неустановившихся режимах. *Ползуновский вестник*, 2022, № 3, с. 50–57.