

СИСТЕМА ПНЕВМОТРАНСПОРТА КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время системы пневмотранспорта сыпучих материалов получили широкое распространение во всех отраслях промышленности, однако такие системы обладают низкими показателями энергоэффективности. На основе детального исследования научной литературы определены основные проблемы применения систем пневмотранспорта и определены направления повышения энергоэффективности. Приведена классификация систем пневмотранспорта, определены наиболее перспективные направления повышения энергетической эффективности систем пневмотранспорта с камерными насосами. Выполнен анализ различных конструкций пневмокамерных насосов и выбрана оптимальная конструкция (в качестве параметра выбирался удельный расход сжатого воздуха на транспортирование 1 кг материала). Выполнен анализ математических моделей систем пневмотранспорта.

Система пневмотранспорта, исследования, энергетическая эффективность, математическое моделирование.

At present the system of pneumatic transport of bulk material is widely used in all industries, though these systems have low levels of energy efficiency. Based on the detailed study of scientific literature we defined the main problems of application of pneumatic system and the promising aspects of increasing energy efficiency. The paper presents the classification of pneumatic systems. Different designs of pneumatic chamber pumps are analyzed and the best one (specific consumption of compressed air for transportation of 1 kg of material was considered as a parameter) is chosen. Mathematical models of pneumatic systems are analyzed in the article.

Pneumatic transport systems, study, energy efficiency, mathematic modeling.

Пневмотранспорт является одним из способов механизации и автоматизации перемещения сыпучих материалов. Широкое распространение этот вид транспорта получил в середине XX в. Основные сферы применения пневмотранспортных установок [1], [6], [12], [13], [17]:

- строительная промышленность;
- сельское хозяйство;
- легкая промышленность;
- химическая промышленность;
- пищевая промышленность;
- металлургия;
- энергетика и т.д.

Многочисленные преимущества систем пневмотранспорта перед другими способами перемещения сыпучих материалов объясняют их широкое распространение. Наиболее существенными достоинствами являются:

- компактность;
- высокие гигиенические показатели;
- возможность полной автоматизации;
- возможность одновременно с транспортированием материала изменять его состояние (сушка, увлажнение и т.д.);
- простота обслуживания.

Системы пневмотранспорта можно классифицировать:

- по давлению потока;
- по величине концентрации твердой фазы в несущем потоке;
- по способу организации движения несущего потока;
- по типу питательных устройств.

В зависимости от величины давления потока системы пневмотранспорта можно разделить на три группы [9]:

1. Низкого давления (до 0,1 МПа). Такие системы применяются для небольших расстояний (до 30 – 40 м). Производительность этих систем не выше 2 т/ч.

2. Среднего давления (от 0,11 до 0,2 МПа). Системы пневмотранспорта этого типа позволяют перемещать до 50 т/ч материала на расстояния до 100 м.

3. Высокого давления (от 0,21 до 0,9 МПа). Системы этого типа могут иметь производительность до 150 т/ч и перемещать материалы на расстояние более 1000 м.

По концентрации твердой фазы в несущем потоке выделяют следующие группы систем пневмотранспорта:

- с высокой концентрацией твердой фазы (расходная массовая концентрация более 20 кг/кг);
- со средней концентрацией твердой фазы (расходная массовая концентрация от 4 кг/кг до 20 кг/кг);
- с низкой концентрацией твердой фазы (расходная массовая концентрация менее 4 кг/кг).

В зависимости от способа организации движения несущего потока можно выделить системы пневмотранспорта:

- всасывающего типа. Применяются для разгрузки и транспортировки материала на небольшие расстояния;
- нагнетательного типа. Такие системы имеют наибольшую производительность и дальность транспортировки сыпучих материалов;
- всасывающе-нагнетательного типа. Широкое распространение установки данного типа получили в сельском хозяйстве. Применение таких систем позволяет упростить разгрузку открытого транспорта и транспортировку сырья. Однако такие системы пневмотранспорта требуют значительных затрат на установку оборудования.

В настоящее время существуют питательные устройства следующих типов:

- камерные питатели;
- шнековые питатели;
- пневмовинтовые питатели;
- рукавный питатель;
- струйные питатели;
- шахтные питатели;
- шлюзовые питатели.

Выбор того или иного типа питателя зависит от условий производства.

В качестве исследуемого питателя был выбран пневмонасос камерного типа как наиболее распространенный в промышленности.

Конструкции камерных насосов можно классифицировать следующим образом:

1. По количеству камер. Пневмокамерные насосы существуют следующих видов: одно-, двух-, трехкамерные. Однокамерные насосы предназначены для циклической работы, тогда как двух- и трехкамерные насосы позволяют работать практически непрерывно.

2. По расположению камер. Различают следующие типы пневмонасосов: горизонтальные, вертикальные и наклонные. Горизонтальные насосы чаще всего применяют в ограниченном пространстве, однако у таких установок наибольшие удельные затраты энергоресурсов на транспортировку материала и низкая надежность работы. Вертикальные пневмокамерные насосы имеют более высокую производительность по сравнению с горизонтальными.

3. По направлению разгрузки. Существуют камерные насосы с верхней и нижней разгрузкой, пневмонасосы с разгрузкой материала сбоку встречаются реже.

4. По типу аэроэлемента. Производительность пневмонасоса зависит не только от количества подаваемого воздуха, но и от конструкции аэроэлементов: сопла, пористые перегородки, аэрокольца и т.п. Анализ литературы показал, что наибольшая производительность пневмонасоса существует при применении плоских пористых перегородок. Их применение увеличивает равномерность распределения сжатого воздуха в камере, что повышает эффективность псевдоожижения сыпучего материала.

Несмотря на ряд существенных достоинств, системы пневмотранспорта обладают серьезными недостатками. Одними из первых можно назвать повышенную энергоемкость и ненадежность работы пневмотранспортных установок. В наиболее продвинутых, с точки зрения развития пневмотранспортных систем, отраслях производства (пищевой и химической) удельный расход энергии на перемещение единицы груза в 1,5 – 4 раза выше аналогичных показателей для механических видов транспорта. В сельском хозяйстве, в строительной и металлургической промышленности данный показатель еще выше и превышает затраты механических видов транспорта в 5 – 14 раз. Низкая энергетическая эффективность до сих пор является основной проблемой применения систем пневмотранспорта в промышленности.

Главную причину высокого потребления энергии большинство специалистов [11], [16], [21], [23] видит в недостаточной изученности процессов, протекающих в установках при пневмотранспорте сыпучих материалов. Это приводит к тому, что пневмоустановки функционируют в режимах, значительно отличающихся от оптимальных.

Повышению эффективности работы пневмотранспорта сыпучих материалов, а также разработке методик расчета посвящено большое количество исследований: И.М. Разумов [23], М.П. Калинушкин [14], Г.М. Островский [21], Ю.М. Кузнецов [18], В.А. Успенский [30], А.Я. Малис [20], Л.С. Клячко [15], А.С. Сукомел [26], Н.А. Артыков [2], И.П. Малевич [19], О.П. Вдовенко [5], Я. Урбан [29], Г. Вельшоф [7], Р. Бусройд [5], С.Л. Соу [25]. Несмотря на широкое распространение высоконапорного пневмотранспорта, большинство вышеперечисленных работ посвящено расчетам низконапорного пневмотранспорта, особенностью которого является незначительная дальность транспортирования и низкая концентрация материала. Оптимизацию работы высоконапорных систем пневмотранспорта рассматривают гораздо реже. Авторами этих работ являются А.Я. Малис [20], Г.М. Островский [22], а также Г. Вельшоф [7].

В основе всех научных исследований лежит математическое моделирование движения многофазного потока. Можно выделить основные математические модели:

1. Поток представляется как течение с взаимопроницаемыми струями, у которых свои индивидуальные параметры (плотность, скорость и т.д.) [3], [27], [28].

2. Материал движется в псевдоожиженном слое, а избыток воздуха представляется в виде отдельных пузырей [24].

3. Поток принимается как однородная по всей длине материалопровода смесь с осредненными параметрами. При использовании этой модели применяют основные уравнения гидравлики (уравнение Бернулли и неразрывности) [8]. Эта модель не учитывает взаимодействия между несущей средой и твердой фазой и разность концентрации материала по сечению трубы.

4. Поток разбивают на две зоны: в первой зоне движение материала представляется в виде рыхлого слоя на дне трубы, а во второй зоне, над материалом, движется газопылевой поток. При этом между слоем и пылевым потоком происходит массообмен. Эта модель имеет ряд существенных недостатков: постоянная скорость потока и несоответствие расчетной схемы реальному распределению материала в материалопроводе [31].

5. Поток представляют в виде дюн, а движение воздуха происходит через зазор между верхней точкой дюны и стенкой трубы. В этой модели принимают допущение о том, что все дюны одинаковы и их движение рассматривают как движение штучного материала, что соответствует только одному из режимов работы системы пневмотранспорта – поршневному режиму [10].

Для расчета систем пневмотранспорта с высокими концентрациями твердой фазы наиболее эффективной будет использование математической модели, в которой рассматривают взаимопроникающие струи, так как использование этой математической модели позволяет изучать процессы движения двухфазных потоков с учетом межфазного взаимодействия.

Выводы:

1. Приведена классификация систем пневмотранспорта.
2. Выявлены основные проблемы моделирования и эксплуатации систем пневмотранспорта.
3. Существующие математические модели не учитывают влияния нагрева или охлаждения сжатого воздуха на производительность пневмокамерного насоса.
4. Исследования конструкций пневмокамерных насосов в основном направлены на повышение износостойкости элементов, а не на повышение их энергоэффективности.
5. Определены наиболее перспективные направления снижения энергоемкости систем пневмотранспорта с камерными насосами.
6. Разработка новых принципов и подходов к моделированию систем пневмотранспорта с камерными насосами является актуальной задачей.

Литература

1. Алмаев, Р.А. Гидро- и пневмотранспортные установки в сельском хозяйстве / В.А. Алмаев. – Ульяновск, 1988.
2. Артыков, Н.А. Пневмотранспорт легкоповреждаемых материалов / Н.А. Артыков. – Ташкент, 1984.
3. Бердичевский, В.Л. Уравнения механики жидкости с частицами / В.Л. Бердичевский // Проблемы осреднения и построения континуальных моделей в механике сплошной среды. – М., 1983.
4. Блох, Л.А. Грузоподъемные и транспортные устройства в пищевой промышленности / Л.А. Блох, А.А. Валович. – М., 1973.
5. Бусройд, Р. Течение газа со взвешенными частицами / Р. Бусройд. – М., 1975.
6. Вдовенко, О.П. Пневматический транспорт на предприятиях химической промышленности / О.П. Вдовенко. – М., 1986.
7. Вельдишоф, Г. Пневматический транспорт при высоких концентрациях перемещаемого материала / Г. Вельдишоф. – М., 1964.
8. Гаспарян, А.М. Трение аэросмесей в трубопроводах (пневмотранспорт в плотном слое) / А.М. Гаспарян, Я.А. Алмасян, Р.Е. Акопян // Труды ТРУ. – Томск, 1971. – С. 27 – 28.
9. Голобурдин, А.И. Пневмотранспорт в резиновой промышленности / А.И. Голобурдин, Е.В. Донат. – М., 1983.
10. Горбис, З.Р. Исследование аэродинамики кипящего слоя зерна / З.Р. Горбис, В.И. Жидко, Г.С. Зелинский // Известия вузов. Пищевая технология. – 1971. – № 2. – С. 23 – 25.
11. Грачева, Л.И. Трубопроводный транспорт в сельском хозяйстве / [Грачева Л.И. и др.]. – Воронеж, 1974.
12. Евстифеев, В.Н. Трубопроводный транспорт пластичных и сыпучих материалов в строительстве / В.Н. Евстифеев. – М., 1989.
13. Журавлев, А.М. Применение пневмотранспорта в парфюмерно-косметической и мыловаренной промышленности / А.М. Журавлев. – М., 1967.
14. Калинушкин, М.П. Пневматический транспорт в строительстве / М.П. Калинушкин, З.Э. Орловский, И.С. Сегаль. – М., 1961.
15. Клячко, Л.С. Пневмотранспорт сыпучих материалов / Л.С. Клячко, Э.Х. Одельский, Б.М. Хрусталева. – Мн., 1983.
16. Костюк, Г.Ф. Исследование гидродинамики взвешенных потоков различной концентрации: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Г.Ф. Костюк. – Одесса, 1974.
17. Кружков, В.А. Металлургические подъемно-транспортные машины / В.А. Кружков. – М., 1989.
18. Кузнецов, Ю.М. Камерный питатель для процессов инъекционной металлургии / Ю.М. Кузнецов. – М., 2000.
19. Малевич, И.П. Транспортировка и складирование порошкообразных строительных материалов / И.П. Малевич, В.С. Серяков, А.В. Мишин. – М., 1984.
20. Малис, А.Я. Пневматический транспорт сыпучих материалов при высоких концентрациях / А.Я. Малис. – М., 1969.
21. Островский, Г.М. О повышение надежности систем пневматического транспорта / Г.М. Островский, А.М. Меньшиков, В.Т. Кривой // Журнал прикладной химии. – 1980. – № 10. – С. 2259 – 2261.
22. Островский, Г.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности / Г.М. Островский. – Л., 1984.
23. Разумов, И.М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов / И.М. Разумов. – М., 1972.
24. Ривкин, М.Б. Применение теории двухфазного псевдооживления к пневмотранспорту в плотной фазе / М.Б. Ривкин // ИФЖ. – 1966. – Т. XI. – № 1. – С. 68 – 73.
25. Соу, С. Гидродинамика многофазных систем / С. Соу; под. ред. М.Е. Дейча. – М., 1971.
26. Сукомел, А.С. Теплообмен и гидравлические сопротивления при движении газовзвеси в трубах / А.С. Сукомел, Ф.Ф. Цветков, Р.Р. Керимов. – М., 1977.
27. Тамарин, А.М. Изучение закономерностей движения дисперсного материала в псевдооживленном слое / А.М. Тамарин, И.З. Мац, Г.Г. Тюхай // Тепло- и массоперенос. – Минск, 1968. – Т. V. – С. 194 – 207.
28. Телетов, С.Г. Уравнения гидродинамики двухфазных жидкостей / С.Г. Телетов // Доклады АН СССР. – 1945. – С. 99 – 106.
29. Урбан, Я. Пневматический транспорт / Я. Урбан; под. ред. Л.М. Шведова. – М., 1967.
30. Успенский, В.А. Пневматический транспорт / В.А. Успенский. – Свердловск, 1959.
31. Newton, T. Chemical Engineering Progress / Timothy Newton, David Connolly, Saeid Mokhtab. – N.Y., 2005.