

УДК 621.867.82

Гущин О. В.

ВИЗУАЛИЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ГАЗОМАТЕРІАЛЬНОГО ПОТОКА В ПНЕВМОТРАНСПОРТНОМУ ТРУБОПРОВОДІ ПРИ ВИСОКОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ АЭРОСМЕСЕЙ

Пневматический транспорт сыпучих материалов, как известно, является одним из наименее энергоёмких и относительно экологически чистых. В последние годы в мировой практике наметилась устойчивая тенденция использования пневмотранспортных установок с высокой концентрацией движущихся аэросмесей, традиционно считавшиеся нерабочими и аварийными. Последние имеют существенный научный и практический интерес.

Движению сыпучих материалов в пневмотранспортном трубопроводе под воздействием несущего воздушного потока присуща неравномерность, связанная с поступлением энергии и сопротивлением движению, вязкость среды, макроскопическое взаимодействие частиц между собой и несущим потоком. Течение газоматериального потока в пневмотранспортном трубопроводе, в общем случае сопровождается: искривлением линий тока, изменением площадей главных поперечных потоков аэросмеси; отрывом транзитных струй от стенок материалопровода и объёмов движущейся смеси; появлением дополнительных вихревых зон. Поэтому выявление структуры потока является необходимым условием для адекватного его описания математическими моделями. Наиболее полная информация о протекающих гидроаэродинамических процессах в пневмотранспортном трубопроводе и зонах входа в него сыпучего материала дают методы визуализации.

Скоростная фотосъёмка более информативна в сравнении с фотографированием [1]. В соответствии с известными методиками её используют лишь для плоских каналов [2]. Импульсная голографическая установка УИГ-1-М даёт голографические снимки быстро протекающего течения. Она отличается сложностью, дороговизной и требует дальнейшего усовершенствования. Разработанная методика кино и фоторегистрации структур потоков в плоских отсеках местных сопротивлений круглых труб [3] не может быть использована применительно к рассматриваемым условиям, так как она предназначена для жидкостей. При выполнении данной работы применены комбинированные методы с применением видеосъёмки.

Целью работы является анализ картины течения газоматериального потока в пневмотранспортном трубопроводе при движении аэросмесей с высокой концентрацией, выявление их закономерностей и особенностей с целью разработки новых высокоэффективных способов пневматического транспортирования сыпучих материалов.

Движение сыпучих материалов в трубопроводе осуществляется под воздействием несущего газового потока в виде аэросмесей. Режимы движения гомогенных и гетерогенных потоков зависят от физико-механических свойств транспортируемых сыпучих материалов, конструкции пневмотранспортной установки, геометрии трубопровода и его трассы, рабочего давления и транспортной скорости движения несущего потока, равномерности подачи сыпучих материалов или аэросмесей в пневмотранспортный трубопровод. В процессе движения между дисперсной (твёрдые частицы) и дисперсной (воздух, газ) фазами возникают сложные силовые взаимодействия, образующие поля быстро меняющихся скоростей и давлений.

Выполненные исследования [4–6] показали, что в трубопроводе наблюдаются следующие основные формы движения аэросмесей: в полёте отдельных частиц во взвешенном состоянии, макробросками с отложениями и без отложений, дюнообразное скольжение по нижней части поверхности трубы и с отложениями, волновое течение, порционное перемещение аэрированного и неаэрированного сыпучего материала, движение аэрированным потоком и сдвигом сплошной массы. При этом в пределах одного трубопровода может существовать, как правило, не более двух режимов движения с их взаимными переходами.

Експериментальные исследования процессов движения аэросмесей выполнены на лабораторном стенде, основные, основные параметры которого определены в соответствии с законами физического моделирования в соответствии с критериями подобия [7]. Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из: компрессора с ресивером 1; воздухохранилища 2; воздухопровода 3; распределителя воздуха 4; воздухопроводящих трубопроводов 5, 6, 7; загрузочного устройства 8; материалопровода 9; дополнительного воздухопроводящего канала 10; воздухопроводящих патрубков 11; разгрузочного бункера 12; фильтра 13; контрольных манометров 14, 15, 16, 17. Материалопровод выполнен из трубок прозрачного кварцевого стекла. Схема трассы установки включает горизонтальные, наклонные, вертикальные участки и повороты. Схема мобильна и предусматривает различные вариации и сочетания участков и направлений, линейные участки и колена выполнены съёмными.

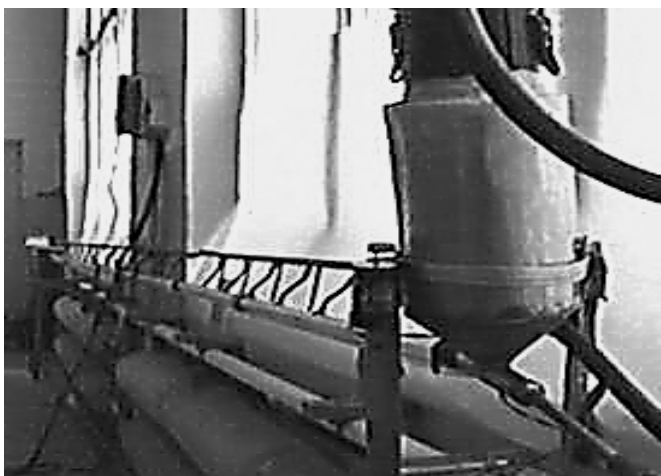
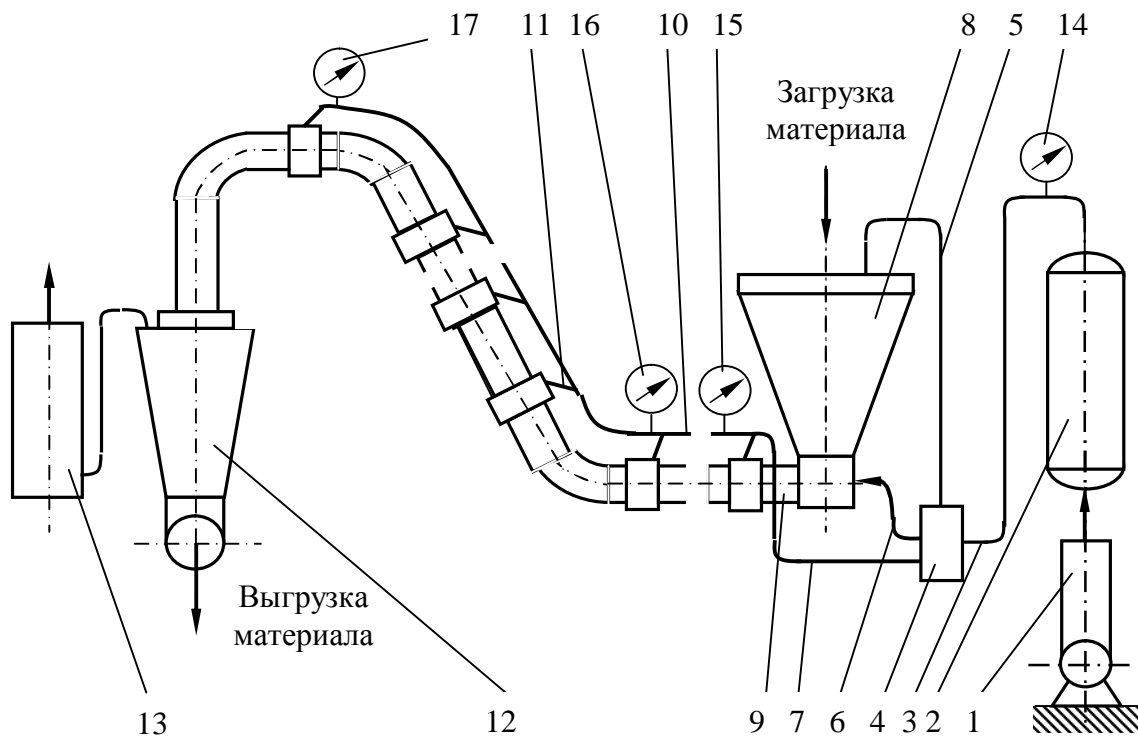


Рис. 1. Экспериментальная пневмотранспортная установка с порционным движением сыпучего материала:

а – схема; б – общий вид экспериментальной установки

Техническая характеристика установки: производительность 2 ... 5 т·ч⁻¹; дальность транспортирования 10...30 м; изменение угла наклонных участков 0 ... 90°; высота подъема 0...5 м; диаметр транспортного трубопровода 26, 36 и 42 мм; максимальное давление компрессорной установки 0,6 МПа.

Сжатый воздух от воздухоборника помимо транспортного трубопровода поступает к загрузочному устройству и дополнительному воздухопроводящему каналу, размещенному над материалопроводом, и через воздухопроводящие патрубки – в материалопровод. Под воздействием сжатого воздуха, выходящего из воздухоподводящих патрубков, транспортируемый материал, загружаемый в материалопровод питателем, разделяется на отдельные объёмы и в порционном режиме перемещается вдоль трубопровода.

Визуализация процессов транспортирования выполнены для следующих материалов: кварцевые пески, сухие строительные смеси, хромистый железняк, каменный уголь, железная руда, кальцинированная сода, пластмасса (шарики), полиэтилен (шарики). Крупность частиц колеблется в пределах 0,1...3 мм, насыпная плотность 0,4...4,5 кг·м⁻³, материал разнофракционный с размерами частиц 0,5...4,5 мм. Исследования выполнены в трубопроводах с эффективным диаметром труб 28 мм и 36 мм. Исследования порционного режима движения сыпучих материалов выполнены с применением визуальных методов, методов фотографирования и видеосъемки. Эксперименты проведены при изменении избыточного давления в транспортном трубопроводе и воздуховоде в диапазоне 0,01...0,05 МПа.

Исследования показали, что в транспортном трубопроводе создается режим движения легкоподвижных и связных материалов гомогенной и гетерогенной структуры в форме порций (пробок), разделённых воздушными прослойками. Порционный режим движения сохраняется по всей длине транспортного трубопровода при транспортировании всех перечисленных типов исследуемых сыпучих материалов (рис. 2). Границы порций материала и воздушных прослоек очерчены достаточно четко, хотя и изменяются в процессе движения. При формировании длинных порций происходит их саморасчленение под воздействием воздушных импульсов, идущих от воздухоподводящих патрубков. Короткие порции сливаются в более длинные, сохраняя в общем длину порядка (30 ... 50) d_T – диаметров транспортного трубопровода. Процесс стабильный по всей длине транспортирования.

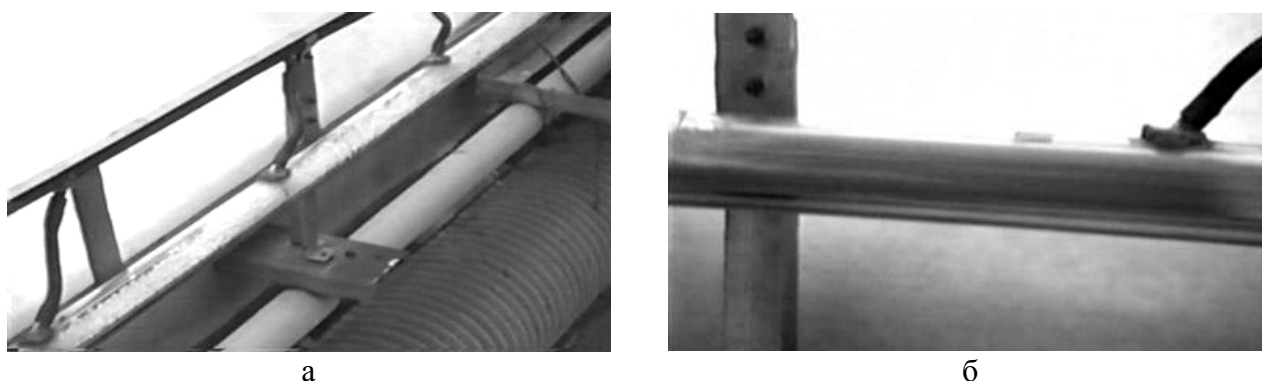


Рис. 2. Порционный режим движения аэросмесей в пневмотранспортном трубопроводе в период номинального режима работы:

а – частицы полиэтилена шаровой формы; б – кварцевый песок

Повышение давления вызывает увеличение скорости движения отдельных порций и уменьшение их длины. Дальнейшее повышение давления в трубопроводе влечет за собой переход к режиму движения макробросками с отложениями и, далее к режиму в полете отдельных частиц во взвешенном состоянии. Подобная картина характерна для течения всех типов исследуемых сыпучих материалов.

Зависимость длины формирующихся порций сыпучего материала и соотношение длины порции к диаметру транспортного трубопровода от параметра Фруда свидетельствуют о взаимосвязи длины порции, скорости несущего потока и геометрических параметров материалопровода.

Предположение о неравномерности распределения сыпучего материала в пределах движущейся порции вдоль оси транспортного трубопровода и по его поперечному сечению получило своё экспериментальное подтверждение (рис. 2, а). Фотографии распределения сыпучих материалов вдоль трубопровода, на которых хорошо видны сформировавшиеся объёмы сыпучего материала, разделённые воздушными прослойками, являются достаточно убедительным (рис. 3). По поперечному сечению трубопровода материал также распределён неравномерно, более высокая концентрация наблюдается у нижней кромки трубопровода.

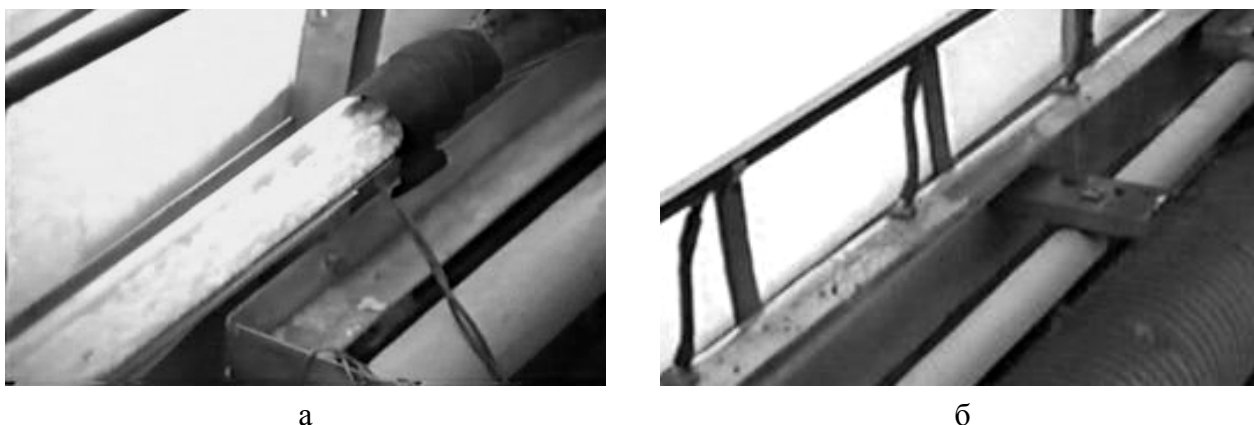


Рис. 3. Движение частиц полиэтилена шаровой формы:
а – начало движения; б – окончание движения – начало продува

Процесс условий входа и формирования режимов движения аэросмесей выполнен на модели аэрационно-эжекционного питателя (рис. 4). Для визуального наблюдения за процессом истечения сыпучего материала мерный бункер выполнен из прозрачного материала.



Рис. 4. Модель аэрационно-эжекционного питателя:
а – общий вид; б – начало истечения и формирования потока

Экспериментально на модели исследовано: движение сыпучего материала в камере смешения при воздействии на него двух воздушных потоков, направленных под определенным углом друг относительно друга; влияние подачи избыточного давления в освобождающуюся часть

бункера на процесс истечения; влияние диаметра сопел и места установки горизонтального и вертикального сопел на процесс истечения; изменение массовой концентрации в зависимости от величины избыточного давления.

Начальные подвижки материала в трубопроводе наблюдались при избыточном давлении 0,01 ... 0,012 МПа. При давлении около 0,02 МПа имеет место устойчивое движение аэросмеси. При этом в непосредственной близости от камеры смешения материал перемещается в плотном аэрированном состоянии (рис. 5, а), на некотором расстоянии формируется устойчивое волновое движение аэросмеси (рис. 5, б) с дальнейшим переходом в порционный режим движения

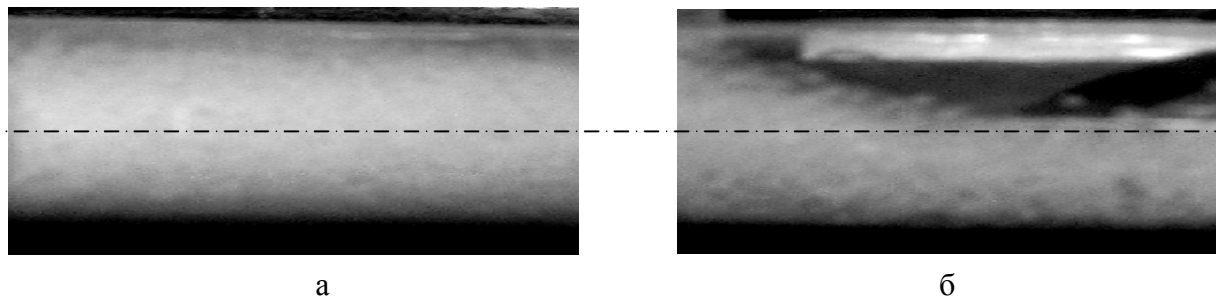


Рис. 5. Движение аэросмеси в зоне формирования потока:
а – в плотном аэрированном состоянии; б – волновой режим движения аэросмеси

ВЫВОДЫ

Выполненные визуальные исследования массопереноса сыпучих материалов в пневмотранспортном трубопроводе позволили сделать следующие выводы: сыпучий материал в транспортном трубопроводе стабильно движется в виде отдельных объемов, чередующихся с объемами воздуха; порционный режим сохраняется по всей длине транспортного трубопровода, при этом границы порции очерчены достаточно четко; длина и форма отдельных порций несколько видоизменяются в процессе поступательного движения вдоль трубопровода; размеры и форма порций зависят от физико-механических свойств транспортируемых материалов, геометрических параметров материалопровода, воздуховода и воздухоподводящих патрубков, давления воздуха в транспортной линии; по поперечному сечению сыпучий материал распределяется неравномерно, более высокая концентрация имеет место у нижней поверхности материалопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуцин В. М. Режимы движения двухкомпонентной среды в транспортном трубопроводе / В. М. Гуцин // Сб. научн. тр. Нац. горной академии Украины. – Дніпропетровськ : Навчальна книга, 2002. – № 13, Т. 2. – С. 22–25.
2. Гуцин О. В. Пневмотранспорт сыпучих материалов в порционном режиме движения / О. В. Гуцин // Сб. научн. тр. Нац. горной академии Украины. – Дніпропетровськ : Навчальна книга, 2002. – № 13, Т. 2. – С. 22–25.
3. Гуцин О. В. Экспериментальные исследования массопереноса пневмотранспортной установкой с порционным движением сыпучих материалов / О. В. Гуцин // Наук. вісн. будівництва : зб. наук. праць. – Харків : ХДТУБА-ХОТВАБУ, 2000. – Вип. 11. – С. 254–260.
4. Евгенийев С. С. Исследование потока жидкости в криволинейном плоском канале / С. С. Евгенийев, А. В. Циглер // Очистка природных и сточных вод. – Казань, 1982. – С. 40–42.
5. Лазерная анемометрия, дистанционная спектроскопия и интерферометрия : справочник / В. П. Клочков, Л. Ф. Козлов, И. В. Потыкевич, М. С. Соскин; под ред. М. С. Соскина. – К. : Наук. думка, 1985. – 759 с.
6. Чернюк В. В. Візуалізація структури потоків у круглих трубопроводах кіно – та фотореєстрація / В. В. Чернюк // Промислова гідраліка і пневматика. – 2004. – № 4 (6). – С. 9–12.
7. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов. – М. : Госиздат, 1957. – 375 с.