

УДК 621.867.82

Гущин О. В.

### ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНОГО ТРУБОПРОВОДА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ С ПОРЦИОННЫМ РЕЖИМОМ ДВИЖЕНИЯ АЭРОСМЕСЕЙ

Разработка новых высокоэффективных способов пневматического транспортирования сыпучих материалов является актуальной для промышленности Украины. На промышленных предприятиях широко используется пневматический транспорт сыпучих материалов, работающий в режиме полета одиночных частиц во взвешенном состоянии [1, 2], как известно, обладающий рядом существенных недостатков. Доказано, что с точки зрения достижения максимальной производительности при минимизации энергетических затрат, наиболее эффективной представляется форма переноса сыпучих материалов в виде отдельных порций в аэрированном состоянии [3]. Выполненные исследования [4, 5] подтвердили хорошую работоспособность пневмотранспортной установки, работающей в порционном режиме движения аэросмесей, выявлены определенные закономерности и особенности массопереноса в пневмотранспортном трубопроводе, который оборудован дополнительным воздуходувом и воздухоподводящими патрубками. В вышеуказанных работах дано лишь объяснение физики процессов, протекающих в пневмотранспортном трубопроводе, что является совершенно недостаточным для обоснования технических характеристик и параметров изучаемого объекта.

Целью данной работы является теоретическое и экспериментальное обоснование местоположения воздухоподводящих патрубков и угла ввода дополнительного воздушного потока (угла атаки  $\alpha$ ) в пневмотранспортный трубопровод с целью обоснования основных технических характеристик пневмотранспортных установок рассматриваемого типа.

Исследование компоновок пневмотранспортной установки с порционным режимом перемещения сыпучих материалов выполнено на лабораторном стенде с эффективным диаметром прозрачного стеклянного трубопровода  $\varnothing 36$  мм [6]. Опытные проверки включали принятую схему транспортного трубопровода, оборудованного дополнительным воздухопроводом. Дополнительный обводной воздухоподводящий канал при этом может располагаться в любом месте. Подвод сжатого воздуха осуществляется через воздухоподводящие патрубки, размещенные сверху, снизу, сбоку. Опробована схема размещения воздухопровода внутри транспортного трубопровода в его верхней и нижней части.

Исследовано влияние на работоспособность пневмотранспортной установки:

- местоположения воздухоподводящих патрубков;
- угла ввода дополнительного воздушного потока (угла атаки  $\alpha$ );
- соотношения диаметров воздухоподводящих патрубков и материалопровода  $d_g/d_T$ .

Результаты экспериментальных исследований месторасположения воздухоподводящих патрубков по отношению к материалопроводу показали:

– схема с верхним размещением воздухоподводящих патрубков предпочтительнее, так как при номинальном установившемся режиме транспортирования поступающий сверху дополнительный воздушный поток способствует стабильному поддержанию порционного режима движения сыпучих материалов, обладающих разными физико-механическими свойствами;

– при боковом подводе дополнительного воздушного потока сыпучие материалы несколько хуже расчленяются на порции. Наблюдается попадание более мелких фракций материала в обводной воздушный канал, что, естественно, отрицательно сказывается на работоспособности пневмотранспортной установки;

– подвод дополнительного воздушного потока снизу делает режим движения нестабильным, сыпучие материалы несколько хуже расчленяются на пробки, имеет место нарушение порционного режима движения и переход в другие режимы движения аэросмеси. Расстояние между материалопроводом и дополнительным воздуховодом не имеет никакого значения, хотя и не следует стремиться к его увеличению. По-видимому, условия размещения трубопроводов в производственных условиях и технология их изготовления определяет это расстояние.

– схема самоподдержания и сохранения порционного режима движения аэросмесей в материалопроводе при наружном и внутреннем размещении дополнительного воздуховода (рис. 1) свидетельствует о предпочтительности наружного расположения последнего. При этом не следует забывать и о технологичности изготовления и монтажа пневмотранспортной установки.

Влияние угла атаки  $\alpha$  дополнительного воздушного потока на работоспособность пневмотранспортной установки оценено, опосредовано путем анализа давлений струи, соударяющейся с внутренней нижней поверхностью транспортного трубопровода. Для этой цели использована методика, рассмотренная в работе [7]. В случае взаимодействия воздушной струи на нижнюю поверхность трубопровода имеет место растекания струи, величина которого пропорциональна углу атаки  $\alpha$  (рис. 1).

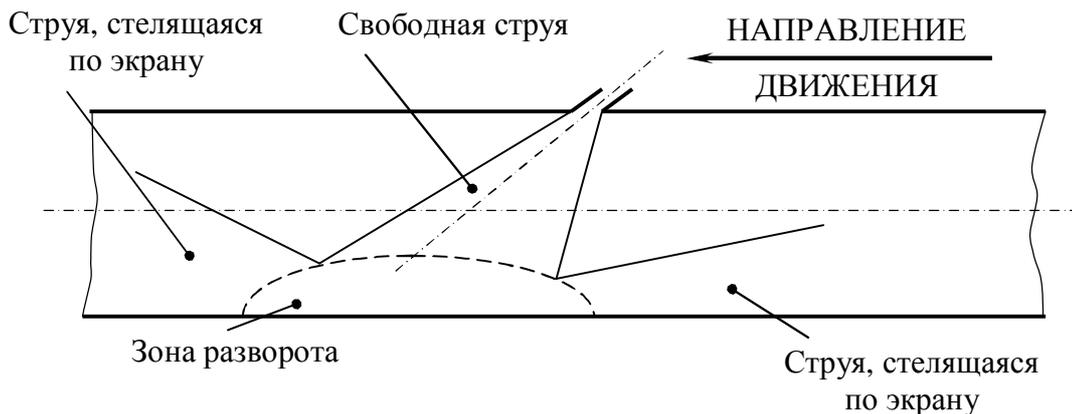


Рис. 1. Схема воздействия струи на нижнюю поверхность трубопровода

Удельное давление  $P_a$ , оказываемое струей на плоскость, зависит от угла атаки и определяется соотношением:

$$P_a = \bar{m}u / F \sin^2 \alpha,$$

где  $\bar{m}u$  – количество движения до растекания на плоскости;  $F$  – площадь поперечного сечения струи;  $\alpha$  – угол атаки.

Для случая распределения скорости в поперечном сечении струи по закону треугольника для углов атаки  $\alpha = 30 \dots 45^\circ$  величина удельного давления может быть определена:

$$P_a = 0,1 r u_{\max}^2 (\sin \alpha)^{1,9},$$

где  $r$  – плотность воздушной струи;  $u_{\max}$  – максимальная скорость струи.

Вследствие расплющивания струи, атакующей поверхность под углом  $\alpha$ , относительная поверхность контакта струи с окружающей средой увеличивается, а дальность ее уменьшается с возрастанием угла атаки. Для угла атаки  $\alpha = 90^\circ$   $P_a = \bar{m}u / F = r u^2 = 2 r u^2 / 2$ , то есть равно удвоенному динамическому давлению.

В соответствии со схемой воздействия воздушной струи (рис. 1), график изменения удельного давления на нижнюю поверхность трубопровода  $P_a$  в зависимости от угла атаки  $a$  для воздушного потока плотностью  $r_g = 1,205 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  при избыточном давлении  $\Delta P = 0,2 \text{ МПа}$  и скорости движения потока на выходе из воздухоподводящего патрубка  $U = 2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  имеет вид косинусоиды (рис. 2, а).

График изменения интенсивности массопереноса  $q$  пневмотранспортного трубопровода, оборудованного дополнительным воздуходувом и дополнительными воздухоподводящими патрубками, в зависимости от угла их размещения к продольной оси (угла атаки  $a$ ) (рис. 2, б) свидетельствует о максимальной несущей способности материалопровода при размещении воздухоподводящих патрубков под углом атаки  $a = 45\text{...}60^\circ$ . Заштрихованные участки (рис. 2, а и 2, в) показывают области рекомендуемых значений угла атаки  $a$  для рассматриваемой конструкции трубопровода.

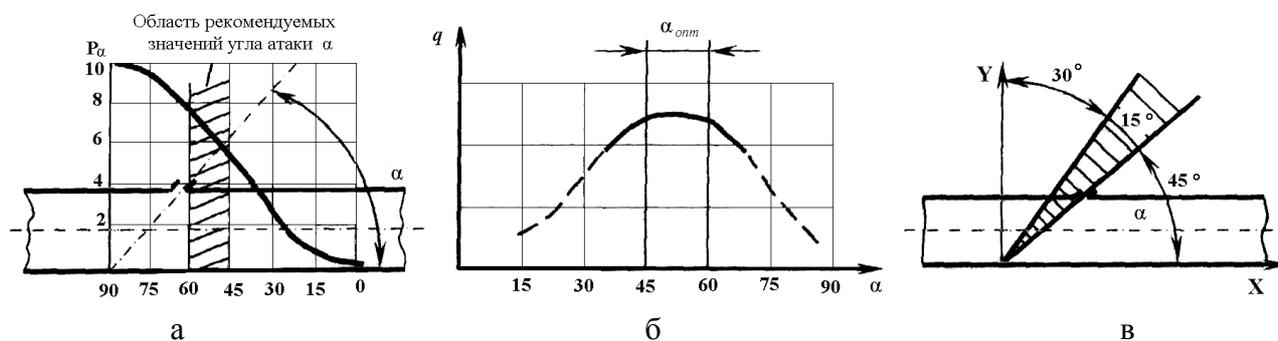


Рис. 2. Влияние угла атаки  $a$  на работоспособность пневмотранспортной установки: а – изменение удельного давления воздушного потока на нижнюю поверхность материалопровода; б – изменение массопереноса; в – область оптимальных значений угла атаки  $a$

## ВЫВОДЫ

Обосновано местоположение дополнительного воздушного канала и воздухоподводящих патрубков относительно рабочего пневмотранспортного трубопровода. Рекомендовано дополнительную воздушную подпитку посредством воздухоподводящих патрубков осуществлять в верхней части материалопровода. Показано, что максимальная несущая способность пневмотранспортной установки достигается при размещении воздухоподводящих патрубков под углом атаки  $a = 45\text{...}60^\circ$  к продольной оси трубопровода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Смолдырев А. Е. Трубопроводный транспорт / А. Е. Смолдырев ; изд. 3. перераб. и доп. – М. : Недра, 1980. – 293 с.
2. Волошин А. И. Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов / А. И. Волошин, Б. В. Пономарев. – К. : Наук. думка, 2001 – 519 с.
3. Гуцин В. М. Управление движением аэросмесей в пневмотранспортном трубопроводе струйным воздействием воздушного потока / В. М. Гуцин // Вісник ДДМА. – Краматорськ : ДДМА. – 2005. – № 2. – С. 180–185.
4. Гуцин О. В. Пневмотранспорт сыпучих материалов в порционном режиме движения / О. В. Гуцин // Сб. научн. тр. Нац. горн. академії України. – Днепропетровск : Навч. книга, 2002. – № 13. – Т. 2. – С. 22–25.
5. Сивко В. И. Определение потерь давления в пневмотранспортном трубопроводе с дополнительным струйным воздействием воздушного потока на сыпучий материал / В. И. Сивко, В. О. Гуцин // Техніка будівництва. – 2006. – № 18. – С. 50–55.
6. Гуцин О. В. Экспериментальные исследования пневмотранспортной установки с порционным движением сыпучих материалов / О. В. Гуцин // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 1998. – Вып. 4. – С. 154–159.
7. Аверин С. И. Механика жидкости и газа : учебник для вузов / С. И. Аверин, А. Н. Минаев, В. С. Швыдкий, Ю. Г. Ярошенко. – М. : Металлургия, 1987. – 304 с.