

## К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Опыт проектирования и эксплуатации пневмотранспортных установок показывает, что наряду с преимуществами по сравнению с другими видами транспорта им присущи определенные недостатки, основной из которых — сравнительно высокая энергоемкость. Кроме того, не разработан метод расчета, учитывающий особенности трассы, нет теоретического обоснования степени надежности указанных систем. Поэтому научно-исследовательские работы в области пневмотранспорта направлены на изыскание возможностей уменьшения затрат энергии за счет выбора оптимальных режимов транспортирования различных материалов, совершенствования методики расчета и конструкций отдельных элементов систем, повышения надежности работы последних.

В качестве транспортирующих элементов чаще всего применяют трубопроводы круглого поперечного сечения. В этих трубопроводах наблюдаются наименьшие потери давления при транспортировании однородных сред (газа, воды и др.). Однако теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в последние годы, показали, что трубопроводы с поперечным сечением круглой формы при транспортировании дисперсных потоков неэффективны.

В трубопроводах с поперечными сечениями некруглой формы снижение затрат энергии может достигать 10—30%. В то же время в силу недостаточного объема проведенных исследований [1—5] и противоречивости полученных результатов затрудняется возможность обобщения последних для практического использования. Вместе с тем анализ результатов исследований позволяет сделать вывод о том, что, исходя из закономерностей распределения концентраций и скоростей дисперсной среды, можно оценить несущую способность потока, а также определить общие требования и единые критерии оценки различных форм поперечных сечений трубопроводов.

Распределение концентраций дисперсной среды в трубопроводах круглого сечения подчиняется экспоненциальному закону [4, 6], использование которого для трубопроводов некруглой формы дает ошибку, предварительно трудно прогнозируемую. Для исключения подобной ошибки экспериментально изучено распределение концентраций среды в трубопроводе типа "сегмент" и круглом. С этой целью была изготовлена специальная ловушка. Условия проведения опытов принимали в соответствии с планом эксперимента [2]. В качестве изменяемых факторов приняты концентрация ( $x_1$ ), скорость несущей среды ( $x_2$ ), скорость витания частиц материала ( $x_3$ ), характеристика формы поперечного сечения ( $x_4$ ). Получена линейная модель распределения концентраций среды по высоте секции ловушки в виде уравнения регрессии

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4.$$

Если абсолютные значения коэффициентов регрессии больше доверительного интервала (уровень значимости 10%), они признаются статистически значимыми, если меньше — статистически незначимыми и в дальнейшем не рас-

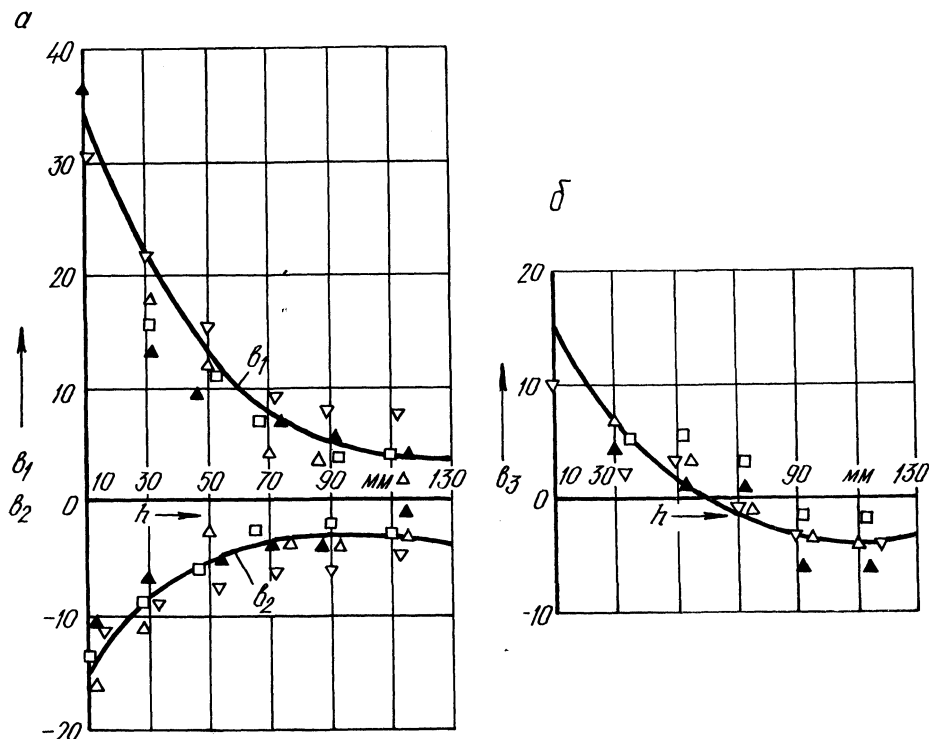


Рис. 1. Зависимость коэффициентов регрессии  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  от координаты рассматриваемой точки  $h$

считаются. Для каждой из зон сечения трубопровода, которые соответствуют секциям ловушки, необходимо проводить расчет по соответствующему уравнению, что затруднительно. В то же время планирование эксперимента позволяет выполнить анализ влияния факторов на случайную переменную (отклик) через закономерности изменения коэффициентов  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_4$  по высоте сечения трубы.

Положительное значение  $b_1$  (рис. 1, а) показывает, что с повышением концентрации соответственно увеличивается объем (масса) материала, проходящего через сечение единичной площади. Наиболее существенное влияние рассматриваемого фактора характерно для нижней части сечения трубы (примерно 1/3 высоты сечения).

Коэффициент  $b_2$  принимает отрицательные значения. Это показывает, что с увеличением скорости потока концентрация материала в данном сечении уменьшается, что объясняется узким интервалом варьирования данного фактора (12–16 м/с) по сравнению с данными работы [4] (14–32 м/с), а также влиянием формы поперечного сечения на рассматриваемую закономерность. Согласно [4], с ростом скорости несущей среды увеличивается концентрация транспортируемого материала в верхней части сечения и уменьшается в ниж-

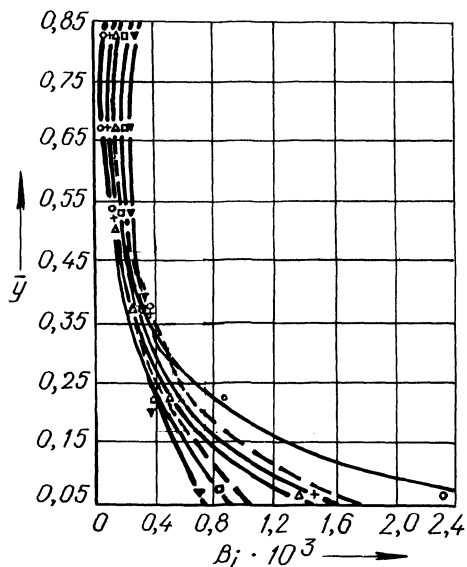


Рис. 2. Распределение концентрации материала (песка) в поперечном сечении трубопровода ( $v = 16$  м/с):

- —  $\varphi = 0^\circ$ ; + —  $\varphi = 75^\circ$ ;  $\Delta$  —  $\varphi = 105^\circ$ ;
- —  $\varphi = 135^\circ$ ;  $\blacktriangledown$  —  $\varphi = 160^\circ$

ней. С увеличением скорости потока возрастают скорость частиц, шаг и высота их скачков. Из анализа экспериментальных данных следует, что скорость витания частиц является одним из факторов, существенно влияющих на характер распределения концентраций материала: с ростом скорости витания частиц она увеличивается в нижней части сечения (0,5–0,6 от его высоты) и уменьшается в верхней.

Таким образом, увеличение скорости витания частиц (изменение их физико-механических свойств, дисперсного состава и других параметров, влияющих на их гидравлическую крупность) при постоянном режиме движения приводит к увеличению объема (массы) частиц, перемещающихся в нижней части сечения. Более равномерное распределение концентрации по сечению будет характерно для материалов с меньшей скоростью витания частиц.

Анализ закономерности изменения коэффициента  $b_4$  показывает, что форма поперечного сечения трубопровода оказывает наибольшее влияние на распределение материала в сечении по сравнению с другими рассмотренными факторами. Это влияние наиболее существенно выражено в нижней части сечения (примерно 0,4–0,5 от его высоты). Это значит, что с изменением угла  $\varphi$  в поперечном сечении типа "сегмент" от нуля до  $160^\circ$  уменьшается объем материала, перемещаемого в нижней части сечения, а следовательно, увеличивается в верхней его части. При изменении  $\varphi$  от нуля до  $160^\circ$  значимость коэффициента  $b_4$  повышается. Оценка влияния формы поперечного сечения с помощью коэффициента  $b_4$  в основном имеет качественный характер. Вместе с тем полученные данные подтверждают вывод [7] о том, что форму поперечного сечения трубопровода следует рассматривать не только как геометрический, но и как динамический параметр работы установок.

Для описания распределения концентраций материала в виде, удобном для аналитических исследований, результаты измерений в нескольких сериях

опытов представлены в безразмерных координатах на рис. 2. В качестве безразмерных координат приняты объемная концентрация материала  $\beta_i$  и безразмерная высота сечения  $\bar{y} = y/\sqrt{A}$ . Штриховыми линиями показано расчетное распределение концентрации материала по сечению трубы согласно выражению

$$\beta_i = \psi e^{-a\bar{y}},$$

где  $\psi$  и  $a$  — опытные коэффициенты.

Анализ экспериментальных данных показывает, что распределение концентрации материала в сечении типа "сегмент" более равномерное, чем в круглом. Степень равномерности повышается с увеличением характеристики сечения типа "сегмент" — угла  $\varphi$ . Наибольшее влияние формы поперечного сечения наблюдается при изменении  $\varphi$  от 0 до 135°. При дальнейшем увеличении  $\varphi$  (до 160°) оно снижается.

Закономерность распределения концентрации материала по сечению трубопровода в процессе транспортирования является одной из основных характеристик, определяющих аэродинамические параметры установки. В круглых трубопроводах характер движения частиц материала определяется скоростью потока несущей среды. В трубопроводах типа "сегмент" при аналогичных условиях транспортирования характер движения частиц зависит в основном от формы поперечного сечения трубопровода. Это значит, что можно улучшить характер движения материала путем изменения формы сечения трубы, т.е. за счет некоторого увеличения одновременных затрат на изготовление трубопровода, а не повышать скорость потока несущей среды в круглых трубопроводах, что связано с ростом эксплуатационных затрат. Более равномерное распределение концентрации материала в трубопроводах с поперечным сечением типа "сегмент" способствует повышению надежности и устойчивости работы транспортной системы.

#### Список литературы

1. Котюба В.П. Влияние формы поперечного сечения трубопровода на гидравлические сопротивления и энергоемкость при горизонтальном пневмотранспорте зерна: Дис. ... канд. техн. наук. Барнаул, 1973.
2. Можар А.И., Хрусталева Б.М. Экспериментальное исследование влияния формы трубопровода на параметры пневмотранспортирования // Экономия материальных и энергетических ресурсов в системах отопления и вентиляции. Ростов-на-Дону, 1986.
3. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. М., 1980.
4. Вельшоф Г. Пневматический транспорт при высокой концентрации перемещаемого материала / Пер. с нем. З. Тица. М., 1964.
5. Боровков В.С., Майроновский Ф.Г. Аэродинамика систем вентиляции и кондиционирования воздуха. М., 1978.
6. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. М., 1955.
7. Можар А.И., Хрусталева Б.М. К вопросу движения дисперсоида в трубопроводах некруглой формы // Вентиляция и кондиционирование воздуха. Рига, 1985.