

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ПЛОТНЫЙ СЛОЙ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВКАХ

*А. Ф. Новиков, канд. техн. наук, Г. В. Ачинович, А. Ф. Даниленко, М. Н. Чальцев, инженеры*

Избыточное давление воздуха в приемных камерах питателей угольной пыли оказывает существенное влияние на истечение пыли из бункера. При расчете размеров выпускных отверстий бункеров необходимо учитывать это влияние.

Данная работа посвящена определению величины возможного давления в подсводовом пространстве и значения градиента этого давления по высоте слоя. С этой целью проведены экспериментальные исследования процесса фильтрации воздуха через плотный слой угольной пыли. Исследования проводились на установке, состоящей из стеклянной трубы, внутренним диаметром 140 мм и высотой 2 м, воздушной камеры с пористой перегородкой, представляющей собой тонкошерстный войлок толщиной 10 мм. Через 200 мм по высоте трубы, начиная от воздухораспределительной перегородки, установлено восемь отборников давления, соединенных с *U*-образными манометрами. Конструкция отборника позволяет выравнивать давление по сечению аппарата.

Воздух из ресивера компрессора поступал в воздушную камеру и через пористую перегородку, собственно, в цилиндрический аппарат, заполненный угольной пылью.

Расход продуваемого газа, отнесенный к площади поперечного сечения аппарата, характеризует скорость фильтрации  $v$

$$v = \frac{Q}{F},$$

где  $Q$  – расход газа;

$F$  – площадь поперечного сечения аппарата.

Расход воздуха регулировался редуктором давления РДВ-5. Измерение расхода осуществлялось с помощью калиброванного капилляра, а замер давления в слое – с помощью манометров.

Исследования проводились на пыли АШ и ДМ при трех уровнях засыпки  $H = 0,68; 0,91$  и  $1,8$  м. Порядок проведения опытов был принят следующим. Взвешенная порция угольной пыли засыпалась в аппарат, после окончательной деаэрации измерялся расход воздуха от нуля до максимального значения, при котором происходил прорыв слоя. При этом с интервалом  $0,1$  л/мин осуществлялся замер давления в слое. Ввиду значительной инерционности процесса замеры осуществлялись после стабилизации показаний всех манометров при фиксированном расходе воздуха.

Исследования показали, что количественные характеристики процесса фильтрации через слой АШ и ДМ отличаются не более чем на 5–6 %. Это

свидетельствует о том, что тонкость помола пыли в исследуемом диапазоне практически не влияет на процесс.

График зависимости сопротивления слоя от скорости фильтрации (рисунок 1) показывает, что в диапазоне фильтрации через плотный слой эта зависимость для заданной высоты слоя носит линейный характер. Линейность зависимости для всех значений  $H$  четко прослеживается до расхода 0,7 л/мин ( $v = 0,76 \cdot 10^{-3}$  м/с). Выше этого расхода зависимость отклоняется от прямолинейности в сторону уменьшения сопротивления. Для малых же уровней засыпки ( $H = 0,68$  и  $0,91$  м) линейность не нарушается, но при расходе 0,7 л/мин практически всегда происходит прорыв слоя. На основании этого можно сделать заключение, что фильтрация воздуха без нарушения структуры слоя существует в весьма узком диапазоне скоростей газового потока  $0 \div 0,76 \cdot 10^{-3}$  м/с. За пределами  $v = 0,76 \cdot 10^{-3}$  м/с. В слое начинают образовываться каналы и, в конечном счете, происходит прорыв слоя. Скорость фильтрации, соответствующая прорыву,  $v_{\text{п}} = 0,76 \cdot 10^{-3}$  м/с

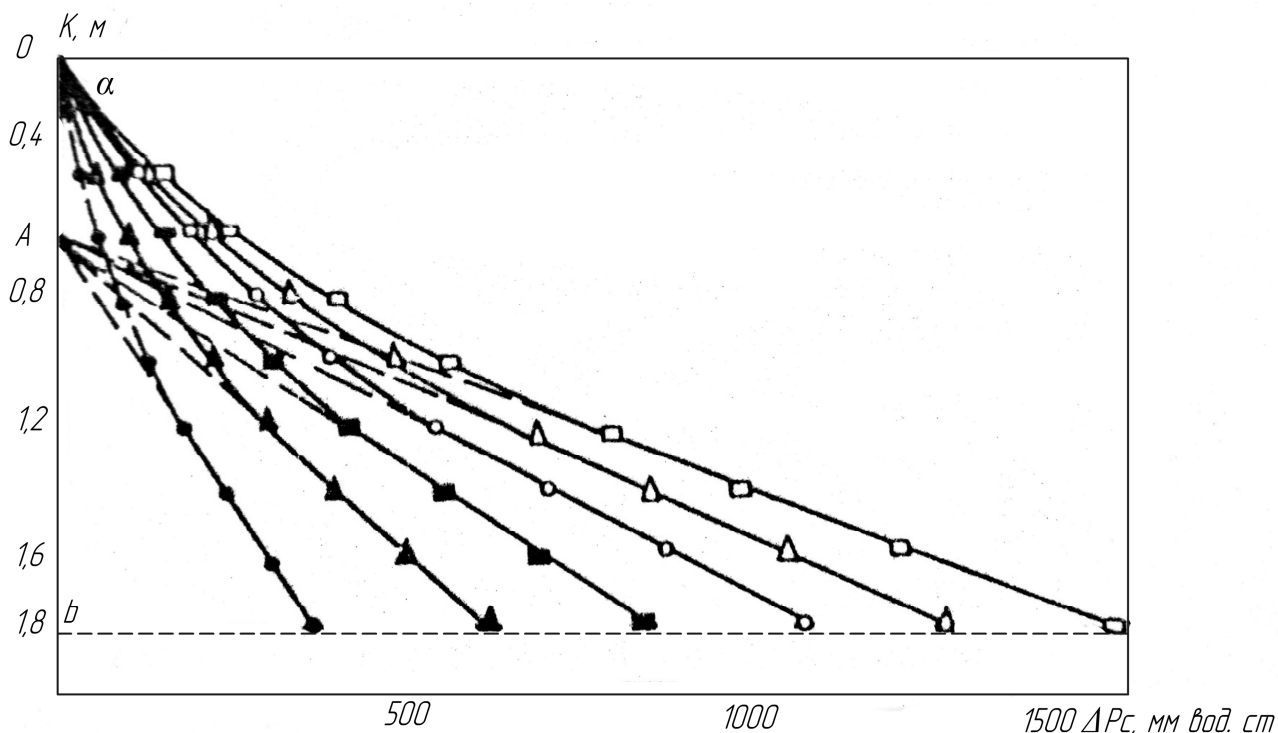


Рисунок 1 – Зависимость сопротивления слоя от расхода фильтрующего воздуха:

- – при  $H = 1,6$  м;
- ▲ – при  $H = 1,8$  м;
- – при  $H = 1,4$  м.

К моменту прорыва сопротивление слоя  $\Delta P_c = (0,94 \div 1)q$  ( $q$  – удельная нагрузка на дно аппарата, определяемая как отношение веса засыпки к площади сечения аппарата), то есть сила давления фильтрующегося воздуха практически

равна весу засыпки. В момент прорыва сопротивление слоя резко падает до значения  $\Delta P_c = 0,15q$ , при этом величина  $\Delta P_c$  характеризует сопротивление образовавшихся каналов. Зависимость сопротивления слоя от его высоты (рисунок 2) при постоянном расходе воздуха по характеру представляет степенную функцию. Но в нижней части аппарата с достаточной степенью приближения эту зависимость можно считать линейной. Нелинейность проявляется в верхней части аппарата. Этот факт объясняется структурными свойствами слоя. Исследования компрессионных характеристик показали, что насыпная плотность угольной пыли является функцией сжимающих напряжений. Вертикальные и боковые давления материала внутри трубы нарастают со свободной поверхности до некоторой глубины, ниже которой давления остаются постоянными [1]. Таким образом, в верхней части аппарата насыпная плотность пыли нарастает, а на участке постоянных давлений структура слоя изотропна.

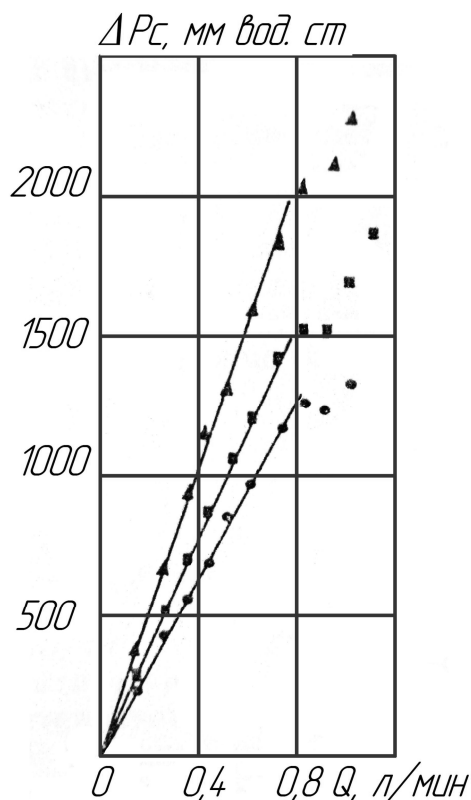


Рисунок 2 – Зависимость сопротивления слоя от его высоты:

- – при  $v = 0,162 \cdot 10^{-3}$  м/с;
- ▲ – при  $v = 0,292 \cdot 10^{-3}$  м/с;
- – при  $v = 0,379 \cdot 10^{-3}$  м/с;
- – при  $v = 0,465 \cdot 10^{-3}$  м/с;
- △ – при  $v = 0,542 \cdot 10^{-3}$  м/с;
- – при  $v = 0,65 \cdot 10^{-3}$  м/с.

В результате обработки опытных данных получены зависимости сопротивления плотного слоя угольной пыли от его высоты и скорости фильтрующегося воздуха в диапазоне скоростей  $0 \div 0,76 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$  (при  $0 < H \leq 2 \text{ м}$ )

$$\Delta P_c = 91,85 H^{1,43} v, \quad (2)$$

где  $\Delta P_c$  – сопротивление слоя, кг/см<sup>2</sup>;

$H$  – высота засыпки, м;

$v$  – скорость фильтрации, м/с.

При помощи этой формулы с достаточной для практики точностью можно рассчитывать параметры фильтрации воздуха через плотный слой до 2 м.

Анализ графика  $K = f(H)$  позволяет установить, что при значениях  $H > 1,2 \text{ м}$  эта зависимость переходит в линейную. Это хорошо согласуется с приведенными выше соображениями относительно структурных свойств слоя.

В результате обработки коэффициента  $K$  для значений  $H > 1,2 \text{ м}$  в виде  $K = aH + b$  получена зависимость сопротивления слоя (при  $H > 2 \text{ м}$ )

$$\Delta P_c = (162H - 76)v. \quad (3)$$

Поскольку для определения размеров выпускного отверстия бункера необходим градиент подсводного давления, характеризующий изменение последнего на весьма малой высоте от свободной поверхности свода [1], то линейная зависимость сопротивления слоя от высоты засыпки в нижней части аппарата может быть представлена в виде касательных к семейству кривых  $\Delta P_c = f(H)$  в точках, соответствующих  $H_{\max}$  (рисунок 2). При графическом строении касательных обнаружено, что все касательные пересекаются с осью  $H$  в одной точке  $A$ , делящей всю высоту слоя в отношении  $\frac{1}{2}$  ( $\alpha A = 0,6 \text{ м}$ ;  $Ab = 1,2 \text{ м}$ ). Это отношение сохраняется для различных высот засыпки.

Нелинейность зависимости сопротивления слоя высоты, проявляющаяся в верхней части аппарата и связанная со структурными свойствами слоя, приводит к эффекту «уменьшения» высоты последнего при определении градиента подсводного давления. Градиент давления для подстановки в формулу предельного сводообразующего отверстия можно определить из выражения

$$K\sigma_{\Pi} = \frac{3\sigma_{\Pi}}{2H},$$

где  $\sigma_{\Pi}$  – подсводное давление воздуха.

Проведенные исследования процесса фильтрации воздуха через плотный слой угольной пыли позволили установить, что: тонкость помола угольной

пыли практически не влияет на количественные характеристики процесса фильтрации; плотный слой угольной пыли обладает низкой фильтрующей способностью – максимальная скорость фильтрации воздуха лежит в диапазоне  $0,76 \cdot 10^{-3} - 0,0011$  м/с. При достижении этой скорости происходит прорыв слоя. К моменту прорыва давление воздуха уравнивает вес слоя; анизотропия плотности слоя приводит к эффекту «уменьшения» его высоты при определении градиента подсводового давления.

Кроме того, необходимо отметить, что высокая запирающая способность плотного слоя угольной пыли может быть использована для создания пневмотранспортной установки, обеспечивающей подачу пыли на большие расстояния без применения механических питателей и камерных насосов. На основании полученных в работе данных в настоящее время изготовлена полупромышленная установка подобного типа, на которой проводятся исследования и отработка параметров опытно-промышленного образца.

### **Литература**

1. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов / Р. Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964.