Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. /XXУП, 1978 г.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩЕГО СЛОЯ ВАКУУМ-ФИЛЬТРА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЕГО КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

А.Г.ЦАЙ

При создании математической модели процесса фильтрования в барабанном вакуум-фильтре с целью его автоматизации [4] возникают затруднения, связанные с отсутствием методов экспериментального определения величины сопротивления осадка и фильтрующей перегородки. Поэтому при использовании основного уравнения фильтрования одним из главных допущений приходится принимать постоянство удельного гидродинамического сопротивления осадка и сопротивление фильтрующей перегородки. Это упрощение правомерно только для однородных несжимаемых осадков, на практике почти никогда не встречающихся. В процессе обезвоживания суспензий в вакуум-фильтрах осадки как правило сжимаемы, причем их пористость зависит от гранулометрического состава твердой фазы суспензий, формы частиц, влияния реагентов и других факторов и условий фильтрования. Кроме того, пористость и соответственно гидродинамическое сопротивление самой фильтрующей перегородки, независимо от ее толщины, также является переменной величиной [3].

Наиболее приемлемым способом измерения сопротивления фильтрующего слоя является вычисление его значения по перепаду давления, определяемому экспериментально. Однако в реальных условиях на непрерывно движущихся фильтрующих поверхностях представляется затруднительным создание строго нормированного перепада давлений, обеспечение постоянной площади фильтрования и непрерывный съем значений давлений. Применение специальных пробоотборных устройств и последующий анализ фильтруемости суспензий [1] не дает возможности судить о состоянии фильрующей перегородки.

В настоящей работе сделана попытка обоснования метода измерения сопротивления слоя осадка и фильтрующей перегородки непосредственно на вакуум-фильтре. Предлагается использовать измерительную камеру, в которую после обеспечения плотного контакта ее открытой поверхности с поверхностью фильтрующего слоя подается сжатый воздух. После достижения в камере давления, равного некоторому максимально допустимому, подача сжатого воздуха прекращается. Иначе говоря, в измерительную камеру подается импульс давления. После этого к анализируемому слою прикладывается переменный перепад давления.

Как известно [2], фильтрация воздуха через пористую перегородку подчиняется закону Дарси:

$$w = \frac{\Pi \Delta P}{\mu_в h}, \qquad (I)$$

где $\Delta P = P + P_в$; P – давление в измерительной камере; $P_в$ – величина вакуума в зоне разрежения вакуум-фильтра; w – скорость фильтрации; Π – проницаемость пористой перегородки; ΔP – перепад давлений, действующих на пористую перегородку; $\mu_в$ – вязкость воздуха; h – толщина перегородки.

Тогда расход воздуха в единицу времени

$$q = wS, \qquad (2)$$

где S – площадь фильтрации (в данном случае площадь открытой поверхности измерительной камеры).

Подставив (I) в (2), получим

$$q = \frac{S}{R_Ф} \Delta P, \qquad (3)$$

где $R_Ф$ – сопротивление фильтрующего слоя, $R_Ф = \frac{\mu_в h}{\Pi}$.

Применительно к вакуум-фильтру $R_Ф$ характеризуется проницаемостью Π пористой перегородки, зависящей от гранулометрического состава твердой фазы суспензии, формой частиц, сжимаемостью осадка и толщиной h слоя осадка. Кроме того, значение $R_Ф$ зависит от состава двухфазной смеси воздух–жидкость, заполняющей поры слоя, что идентично процессу дополнительного обезвоживания кека на фильтрующей поверхности.

Состояние воздушной смеси в камере определяется уравнением Клапейрона – Менделеева

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{TR}{\mu V} \frac{dM}{dt}, \qquad (4)$$

где P – давление воздуха в измерительной камере объемом $V = const$; T – абсолютная температура воздуха; t – время; R – универсальная газовая постоянная; μ – масса одного моля воздуха; M – масса воздуха в измерительной камере.

Предположим, что процесс снижения давления в камере протекает достаточно медленно, так что его можно считать квазистационарным, поэтому примем $T = const$.

Унос массы воздуха, проходящего через пористую перегородку,

$$\frac{dM}{dt} = \rho_в q, \qquad (5)$$

где $\rho_в$ – плотность воздуха при нормальном давлении.

Из (3) и (5) следует, что

$$\frac{dM}{dt} = \frac{S\rho_в}{R_ф}(P+P_в).$$

Подставив (6) в (4) и разделив переменные, получим

$$\frac{dP}{P+P_в} = -\frac{\rho_в STR}{\mu VR_ф}\,dt$$

Определим начальные и граничные условия для уравнения (7). Пусть тельность контролируемого процесса падения давления в измерительной к ре $\tau = t_2 - t_1$. Избыточное давление P_0 в магистрали сжатого во ха, из которой он подается в камеру, не всегда постоянно. После прекр ния подачи сжатого воздуха давление в камере сразу начинает падать. точной фиксации начала отсчета по давлению в момент времени t_1 зада некоторым начальным давлением P_1, причем $P_0 > P_1$. Величина нижнег уровня давления P_2 в момент времени t_2 и будет тем искомым парамет ром, по которому можно судить о сопротивлении R в конце периода изме ния τ. С учетом этих начальных и граничных условий уравнение (7) в квадратурах примет вид

$$\int_{P_1}^{P_2}\frac{dP}{P+P_в} = -\frac{K}{R_ф}\int_{t_1}^{t_2}dt,$$

где $K = \dfrac{RT\rho_в S}{V\mu}$.

Величина $R_ф$ принята постоянной для каждого периода измерения τ. Р шая (8), получим:

$$\ln(P+P_в)\Big|_{P_1}^{P_2} = -\frac{K}{R_ф}t\Big|_{t_1}^{t_2} = -\frac{K}{R_ф}\tau.$$

Следовательно

$$\ln\frac{P_2+P_в}{P_1+P_в} = -\frac{K\tau}{R_ф},$$

или

$$P_2 = (P_1+P_в)e^{-\frac{K\tau}{R_ф}} - P_в. \qquad (9)$$

Поясним графически (рис.I) полученный в (9) результат. Величина P_0 - начальное избыточное давление в измерительной камере, равное давлению в магистрали сжатого воздуха. P_1 - фиксированное давление, определяющее начало отсчета, или начало периода времени τ (моменты времени t_1, t_1', t_1'', t_1'''), в течение которого производится анализ величины сопротивления фильтрующей перегородки и слоя. Различная крутизна кривых $P(t)$ опреде-

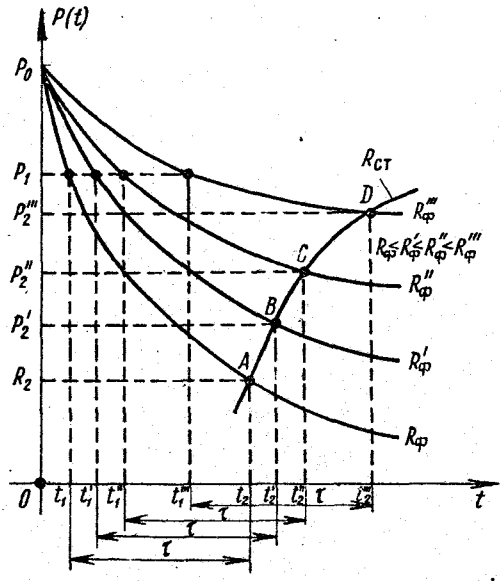


Рис.1. Изменение давления P_2 в измерительной камере при различных значениях сопротивления R_Φ фильтрующего слоя и построение градуировочной характеристики

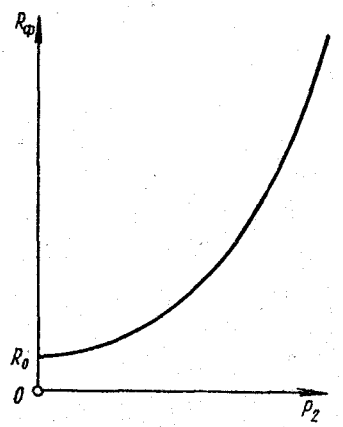


Рис.2. Зависимость величины сопротивления фильтрующего слоя от давления в измерительной камере в конце периода измерения

ляется скоростью падения давления в камере. Задание длительности периода измерения τ позволяет определить положение точек A, B, C, D в моменты времени t_2, t_2', t_2'', t_2''', лежащих на градуировочной характеристике, уравнение которой можно получить из (9):

$$R_{ст} = \frac{K\tau}{\ln\frac{P_1+P_в}{P_2+P_в}}. \qquad (10)$$

Характер зависимости (10) приведен на рис.2 (на рис.1 кривая $R_{ст}$). Выходным параметром являются значения P_2, P_2', P_2'', P_2''' (см. рис.1), которые зависят от скорости падения давления в измерительной камере при различных значениях R.

Изложенный метод можно применить для определения сопротивления и соответственно состояния только фильтрующей перегородки. Тогда сопротивление осадка вычисляется по разности

$$R_{ос} = R_\Phi - R_{ФП},$$

где R_Φ – сопротивление системы «осадок – фильтроткань», $R_{ФП}$ – сопротивление фильтроткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляков А.С., Козлов В.А., Белякова Т.Д. Устройство для автоматического измерения фильтруемости суспензий. А.с. 465211 (СССР). Б.И., 1975, № 12.

2. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М., ОГИЗ Гостехиздат, 1947.

3. Малиновская Т.А., Кобринский И.А., Талачев Н.С. К вопросу теории фильтрования суспензий, образующих сжимаемые осадки. Труды ЛенНИИгипрохима. 1976, вып. 25.

4. Математическая модель процесса фильтрования / Б.З.Безмозгин, В.Г.Дейч, В.В.Стальский, А.Г.Шай, А.Б.Баркан. Труды ЛенНИИгипрохима. 1976, вып. 25.