

Я. С. Мухтаров, Р. Ш. Суфиянов, В. А. Лашков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГИ ИЗ ОСАДКА НА ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЦЕНТРИФУГЕ

Ключевые слова: капиллярная влага, центробежное фильтрование, кинетика процесса.

Получено кинетическое уравнение стадии обезвоживания осадка центробежным фильтрованием.

Keywords: centrifugal filtration, economic and mathematical model.

A kinetic equation dewatering stage centrifugal filtration.

Во многих отраслях промышленности широко применяются процессы центробежного разделения суспензий, в частности при переработке нефтесодержащих грунтов, образующихся при аварийных разливах нефти, для отделения экстракта от промытого грунта [1]. Фильтрующие центрифуги и их применение является эффективным, когда по требованиям технологии необходимо получить продукт с пониженным содержанием жидкой фазы.

Одной из стадий процесса центробежного разделения (при использовании фильтрующих центрифуг) является стадия отделения так называемой капиллярной влаги, находящейся между частицами, в крупных порах и т.д. Определение основных факторов, влияющих на данный процесс, и анализ условий его протекания представляет интерес как с точки зрения методологии [2], так и с практической точки зрения [3].

Запишем основное уравнение фильтрования

$$\frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu r_0 h} d\tau, \quad (1)$$

где V – объем осадка, m^3 ; F – поверхность фильтрования, m^2 ; τ – время, $ч$; ΔP – перепад давления, $Па$; μ – динамический коэффициент вязкости, $Нс/м^2$; r_0 – удельное объемное сопротивление осадка; h – толщина слоя жидкости в роторе, $м$.

Преобразуем его в следующий вид

$$-hdh = \frac{\Delta P}{\mu r_0} d\tau. \quad (2)$$

Согласно [4], на стадии обезвоживания при центробежном фильтровании отделению жидкой фазы из осадка, препятствуют капиллярные силы

$$\Delta P = P_r - P_k, \quad (3)$$

где P_r – величина перепада давления, обуславливающего процесс центробежного отжима, $н/м^2$; P_k – капиллярное давление в слое осадка, $н/м^2$.

$$P_k = 2\sigma/r_3, \quad (4)$$

где σ – поверхностное натяжение, $н/м$; r_3 – эквивалентный радиус капилляров, $м$.

Для определения величины перепада давления, обуславливающего процесс центрифугирования, используем следующее выражение

$$dP = \rho_{ж} \omega_{ц}^2 R dR. \quad (5)$$

Отметим вновь, что во время протекания процесса отделения капиллярной влаги, жидкая фаза отводится из слоя осадка, поэтому в уравнениях, описывающих процесс использована высота капиллярного подъема влаги в слое (h).

После интегрирования выражения (5) левой части от P_1 до P_2 (рис. 1), а правую – от $(R_2 - h)$ до R_2 получим

$$P_f = P_2 - P_1 = \frac{\rho_{ж} \omega_{ц}^2}{2} [R_2^2 - (R_2 - h)^2], \quad (6)$$

где P_1 и P_2 – давление жидкой фазы у стенки ротора и в слое осадка на высоте h .

Подставляя выражение для P_f и P_k в уравнение (2), запишем

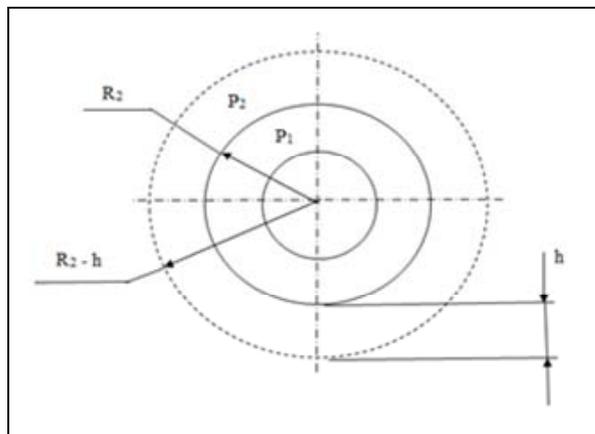


Рис. 1 - Схема к расчету

$$-hdh = \frac{\rho_{ж} \omega_{ц}^2 r [R_2^2 - (R_2 - h)^2] - 4\sigma}{2\mu\mu_0 r_3} d\tau. \quad (7)$$

Разделив переменные, запишем

$$-\frac{2\mu\mu_0 r_3 h dh}{\rho_{ж} \omega_{ц}^2 r [R_2^2 - (R_2 - h)^2] - 4\sigma} = d\tau, \quad (8)$$

$$2\mu\mu_0r_3 \int_h^{h_{oc}} \frac{hdh}{\rho_{ж}\omega_{ц}^2r_0[R_2^2 - (R_2 - h)^2] - 4\sigma} = \int_{\tau_1}^{\tau} d\tau, \quad (9)$$

где h_{oc} – высота слоя осадка; h , τ – соответственно, текущие значения капиллярного подъема и времени процесса отделения капиллярной влаги.

После интегрирования запишем в окончательном виде уравнение кинетики стадии центрального отделения капиллярной влаги из осадка

$$\tau = 2\mu\mu_0r_3 \int_h^{h_{oc}} \frac{hdh}{\rho_{ж}\omega_{ц}^2r_0[R_2^2 - (R_2 - h)^2] - 4\sigma} + \tau_1 \quad (10)$$

Полученная зависимость справедлива лишь до достижения фронтом насыщения высоты капиллярного подъема h_k , после чего процесс прекращается.

Для определения продолжительности процесса необходимо в качестве нижнего предела интегрирования в формулу (10) подставить выражение для определения h_k по известной формуле Жюрена [4]. Указанные решения приведены для r_3 – эквивалентного радиуса капилляров пор осадка.

Пусть задана дифференциальная кривая распределения пор по радиусу

$$\int_0^{r_{max}} \rho(r)dr = 1. \quad (11)$$

Тогда влажность (U) в заданной точке слоя:

$$U_{pi} = \frac{B\rho_{ж}}{(1-B)\rho_{тв}} P_i, \quad (12)$$

где B – пористость слоя; P_i – доля пор радиуса r_i .

Влажность материала в сечении h можно выразить следующей формулой

$$U_h = \int_0^{r_{max}} \frac{B\rho_{ж}}{(1-B)\rho_{тв}} P(r)dr. \quad (13)$$

где r_{max} – максимальный радиус капилляра, заполненный влагой, определяемый из уравнения (10).

Для определения средней интегральной влажности по слою используем следующее выражение

$$U_{cp} = \frac{1}{h_{oc}} \int_0^{h_{oc}} U_h dh.$$

Последние зависимости выведены на основе предположения, что стенки крупных капилляров после отделения влаги остаются сухими, в то время как они покрыты влагой. Наличие влаги на их стенках учитывается при построении гистограммы распределения влаги по сечению, построенной на основе экспериментальных данных.

Литература

1. Р.Ш. Суфиянов, *Известия Моск. гос. техн. ун-та (МАМИ)*, **4**, 2, 201-205 (2012).
2. Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, В.А. Лашков, *Вестн. Казан. технол. ун-та*, **17**, 3, 230-232 (2014).
3. R.S. Sufyanov, A.A. Yakovleva, Y.S. Mukhtarov, *Chemical and Petroleum Engineering*, **48**, 9-10, 602-607 (2013).
4. В.И. Соколов, *Центрифугирование*. Химия, Москва, 1979. 407 с.