

**Министерство высшего и среднего специального
образования СССР**

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

**ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ**

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

Том XXVII

Выпуск 8

1984 год

УДК 66.067.1

А. И. ЕЛЬШИН

ФИЛЬТРОВАНИЕ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОЙ ФАЗЫ СУСПЕНЗИИ

(НОВОПОЛОЦКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА
БЕЛОРУССИИ)

Предложен способ пересчета фильтрационных характеристик процесса фильтрации, сопровождающегося постепенным закупориванием пор при изменении вязкости жидкой фазы, суспензии за счет разбавления или подогрева.

При фильтровании ряда суспензий, когда процесс сопровождается постепенным закупориванием пор, имеет место нелинейный характер фильтрационной характеристики, изображенной в координатах: отношение времени фильтрования τ к объему фильтрата, полученного с 1 м^2 фильтрующей поверхности q , — время фильтрования τ [1]. При изменении вязкости жидкой фазы суспензии за счет фильтрования при разных температурах или разбавлениях имеющиеся эмпирические уравнения не позволяют путем пересчета констант, входящих в эти уравнения, прогнозировать процесс фильтрования при изменении вязкости жидкости. При этом большинство эмпирических уравнений не позволяет даже приближенно оценить степень и характер изменения значения констант без предварительного проведения экспериментов.

В определенной мере указанный недостаток может быть преодолен с помощью уравнения, полученного ранее для такого рода процессов фильтрования [1]:

$$\tau = k_1 q / (1 - k_2 q) - k_3 \ln(1 - k_2 q), \quad q < 1/k_2, \quad (1)$$

где k_1 , k_2 и k_3 — константы, определяемые по соотношениям:

$$k_1 = \varphi / [(mn + \varphi)BNm^2];$$

$$k_2 = (mn + \varphi) / Nm;$$

$$k_3 = n / [B(mn + \varphi)^2].$$

Здесь $\varphi = x_0 / \pi l_K$, $m = (W_n / BN)^{0.5}$, $B = \pi \Delta p / 8 \mu l_K$,

где x_0 — отношение объема осадка к объему фильтрата; l_K — длина капилляра; W_n — начальная скорость фильтрования; N — число пор фильтрующей перегородки, отнесенное к единице поверхности; n — число взвешенных частиц в 1 м^3 суспензии, размер которых больше радиуса пор; Δp — перепад давления; μ — вязкость.

Подстановка соответствующих значений дает

$$k_1 = [W_n(a\pi + 1)]^{-1}, \quad k_2 = (a\pi + 1) / aN, \quad k_3 = nNa^2 / [W_n(a\pi + 1)^2],$$

где $a = v_R / x_0$; $v_R = \pi l_K r_K$, r_K — радиус пор.

При $n=0$ получается уравнение фильтрования с постепенным закупориванием пор ($k_1 = 1/W_n$, $k_2 = x_0 / \pi l_K N r_K^2$, $k_3 = 0$) [2], а в случае $x_0 = 0$ — уравнение с полным закупориванием пор ($k_1 = 0$, $k_2 = n/N$, $k_3 = 8 \mu l_K / \pi \Delta p n r_K^4$).

При определенных обстоятельствах процесс фильтрования суспензий после разбавления или подогрева протекает с постепенным закупориванием пор и проявлением «аномального» поведения в начальный период фильтрования. Для такой ситуации представляет интерес поиск путей предварительного прогнозирования величины констант фильтрования.

Будем считать, что вид процесса фильтрования не изменяется с изменением в определенных пределах вязкости жидкой фазы суспензии, то есть константы в уравнении (1) будут зависеть при прочих равных условиях от вязкости жидкой фазы. Следует иметь в виду, что сделанное допущение ограничивается небольшим интервалом изменения вязкости, в котором можно допустить отсутствие побочных эффектов, определяемых изменением физико-химических свойств системы, например коагуляции, пептизации, агрегатного состояния, частичного растворения и т. д. Как показывает практика, такого рода допущения вполне приемлемы для решения задач оптимизации процессов фильтрования, когда экстремум целевой функции необходимо искать уже в определенной области изменения рабочих параметров, обеспечивающих целесообразные условия проведения технологического процесса [3, 4].

Рассмотрим возможность пересчета констант фильтрования в уравнении (1) для указанных выше условий.

Поскольку начальная скорость фильтрования может быть выражена через сопротивление фильтрующей перегородки $R_{ф.п}$ как $W_n = \Delta p / \mu R_{ф.п}$, то можно записать $A = \mu W_n = \Delta p / R_{ф.п}$. Тогда в случае фильтрования суспензии при различных температурах T константы уравнения (1) преобразуются следующим образом:

$$k_1 = \mu(T) \delta_1, \quad \delta_1 = [A(an+1)]^{-1}; \quad (2)$$

$$k_3 = \mu(T) \delta_3, \quad \delta_3 = nN\alpha^2 / [A(an+1)^2]. \quad (3)$$

Для фильтрования предварительно разбавленной суспензии с объемной долей растворителя в жидкой фазе g_p переменными, кроме вязкости, будут n и α . Полагая, что n' — количество частиц в единице объема исходной суспензии размером больше размера пор фильтра, и учитывая, что $x_0 = x_0' (1 - g_p)$, где x_0' — отношение объема осадка к объему фильтрата в исходной суспензии [3], можно записать:

$$\alpha = v_n / [x_0' (1 - g_p)] = \alpha' / (1 - g_p); \quad n = n' (1 - g_p).$$

В результате получим

$$k_1 = \mu(g_p) \psi_1, \quad k_2 = \psi_2 (1 - g_p), \quad k_3 = \frac{\mu(g_p)}{1 - g_p} \psi_3, \quad (4)$$

$$\text{где } \psi_1 = [A(n'\alpha' + 1)]^{-1}, \quad \psi_2 = (\alpha' n' + 1) / \alpha' N, \quad \psi_3 = n' N (\alpha')^2 / [A(n'\alpha' + 1)].$$

Таким образом, для пересчета констант k_1 , k_2 и k_3 на другую температуру или степень разбавления раствора необходимо определение констант δ_1 , δ_3 или ψ_1 , ψ_2 и ψ_3 .

Указанные константы могут быть найдены, если известны k_1 , k_2 и k_3 для исходной суспензии. Очевидно, что определение последних по уравнению (1) вызывает трудности, однако при разложении уравнения в степенной ряд они достаточно легко вычисляются. Разложение дает

$$\tau/q = x_1 + x_2 q + x_3 q^2 \quad (5)$$

$$x_1 = k_1 + k_2 k_3; \quad x_2 = k_2 (k_1 + k_2 k_3 / 2); \quad x_3 = k_2^2 (k_1 + k_2 k_3 / 3). \quad (6)$$

Таблица 1

Сопоставление опытных и расчетных данных, полученных при различной степени разбавления жидкой фазы

Степень разбавления	Объем фильтрата, $q \cdot 10^2$, м ³	1,12	2,70	4,40	5,96	7,60	9,20	10,80	11,30	12,40	14,00
		0,6	30	90	165	270	405	585	840	950	—
	Время фильтрования τ , с	30	90	165	270	405	585	840	950	—	1900
	Время фильтрования по ур. (1) τ_p , с	30	88	175	286	444	623	935	1042	—	1859
0,7	Время фильтрования τ , с	25	48	75	155	245	355	515	—	705	885
	Время фильтрования по ур. (1) τ_p , с	20	57	107	168	248	347	470	—	625	819
0,8	Время фильтрования τ , с	—	45	90	150	225	315	405	—	496	600
	Время фильтрования по ур. (1) τ_p , с	—	46	83	124	175	234	302	—	381	474

Если x_1 , x_2 и x_3 определены из эксперимента, то путем решения системы уравнений (6) получаем

$$k_1 = [1 - Dx_1 + (1 + 2Ax_1 - 3A^2x_1^2)^{0,5}] / 2D,$$

$$\text{где } D = 3x_3/4x_2^2; k_2 = 2x_2/(k_1 + x_1); k_3 = (x_1 - k_1)/k_2.$$

Следует отметить, что разложение (5) пригодно при анализе фильтрационной характеристики, если $x_1 > 0$, $x_2 > 0$ и $x_3 > 0$.

Пример расчета для случая разбавления суспензии. В качестве модельной суспензии использовали 1,5%-ную суспензию ZnO в водном растворе глицерина. Фильтрацию вели через бельтинг при $\Delta p = 3 \cdot 10^4$ Па. Было определено, что при содержании воды $g_p = 0,4$ объемной доли $x_1 = 8,6938 \cdot 10^3$ с·м⁻¹, $x_2 = 1,71843 \cdot 10^5$ с·м⁻², $x_3 = 7,619454 \cdot 10^5$ с·м⁻³. Отсюда следует, что $k_1 = 50,396 \cdot 10^3$ с·м⁻¹, $k_2 = 5,81633$ м⁻¹, $k_3 = -7169,8$ с. При $g_p = 0,4$ вязкость жидкой фазы $\mu = 1 \cdot 10^{-2}$ Па·с, следовательно, константы пересчета для другой степени разбавления будут: $\psi_1 = 50,396 \cdot 10^5$ м·Н⁻¹, $\psi_2 = 9,69388$ м⁻¹, $\psi_3 = -4,302 \cdot 10^5$ м²·Н⁻¹. Теперь легко рассчитать фильтрационную кривую; например, для степени разбавления $g_p = 0,6$ ($\mu = 2,65 \cdot 10^{-3}$ Па·с) получаем следующее уравнение:

$$\tau = 133,55 \cdot 10^2 q / (1 - 3,87755q) + 28,501 \cdot 10^2 \ln(1 - 3,87755q).$$

Результаты расчета сведены в табл. 1, в которой τ_p — время фильтрования, найденное на основе ψ_1 , ψ_2 и ψ_3 по уравнению (1). Аналогичным образом получены результаты для $g_p = 0,7$ ($\mu = 1,86 \cdot 10^{-3}$ Па·с) и $g_p = 0,8$ ($\mu = 1,65 \cdot 10^{-3}$ Па·с).

Таблица 2

Фильтрационная характеристика

Объем фильтрата, $q \cdot 10^3$, м ³	14,95	16,8	17,8	20,56	23,4	25,2	27,1	29	30,8	34,6	38,3
Время фильтрования τ , с	180	210	240	300	360	420	480	540	600	720	900
Время фильтрования по ур. (1) τ_p , с	163	197	217	277	347	396	452	511	571	709	861

Таблица 3

Фильтрационные характеристики для различных температур фильтрования

Температура фильтрования, °С					
40			60		
Объем фильтрата, $q \cdot 10^3$, м ³	Время фильтрования τ , с	Время фильтрования по ур. (1) τ_p , с	Объем фильтрата, $q \cdot 10^3$, м ³	Время фильтрования τ , с	Время фильтрования по ур. (1) τ_p , с
12	30	35	25,0	65	81
17	60	61	31,0	90	120
25	90	119	35,5	120	155
30	120	165	37,4	150	171
36	180	233	40,0	180	195
39	210	271	45,0	210	245
41	240	299	46,7	240	264
42	270	313	47,7	270	275
44	300	343	50,0	300	303
49	360	425	52,0	360	330
51	420	461	54,0	420	354
53	480	498	—	—	—
55	540	537	—	—	—
57	600	578	—	—	—

Пример расчета в случае подогрева исходной суспензии. В качестве модельной использовали суспензию, содержащую 2 % твердой фазы и представляющую смесь 33 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и 67 % ZnO . Жидкая фаза — смесь воды с глицерином, $\mu = 12 \cdot 10^{-3}$ Па·с при 17 °С. Фильтрующая перегородка — бельтинг, $\Delta p = 5 \cdot 10^4$ Па. Данные, полученные при фильтровании исходной суспензии, а также τ_p , найденное по уравнению (1) ($k_1 = 30,77 \cdot 10^4$ с·м⁻¹, $k_2 = 2,6258$ м⁻¹ и $k_3 = 115,5 \cdot 10^3$ с) для рассчитанных по точкам $q = 16,8 \cdot 10^{-3}$, $23,4 \cdot 10^{-3}$ и $34,6 \cdot 10^{-3}$ м $x_1 = 4407,85$ с·м⁻¹, $x_2 = 409,77 \cdot 10^3$ с·м⁻², $x_3 = 73,7 \cdot 10^4$ с·м⁻³, приведены в табл. 2.

Результаты фильтрования той же суспензии при 40 и 60 °С и данные, рассчитанные по уравнению (1) с помощью констант $\delta_1 = 2,564 \cdot 10^7$ (Па·м)⁻¹, $\delta_3 = -9,625 \cdot 10^6$ (Па)⁻¹, представлены в табл. 3. Здесь для температуры 40 °С $\mu = 3,66 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $k_1 = 93,84 \cdot 10^3$ с·м⁻¹, $k_3 = -35228$ с; для температуры 60 °С $\mu = 2,5 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $k_1 = 64,1 \cdot 10^3$ с·м⁻¹ и $k_3 = -24063$ с.

Таким образом, предложенные соотношения позволяют в ряде случаев прогнозировать процесс фильтрования суспензии при изменении вязкости жидкой фазы, что может быть полезно в проектировании фильтровального оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гриченко А. А., Ельшин А. И. Изв. вузов. Химия и хим. технология, 1981, т. 24, вып. 4, с. 509—513.
2. Жужиков В. А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. М.: Химия, 1980. 400 с.
3. Гриченко А. А., Ельшин А. И. Изв. вузов. Химия и хим. технология, 1981, т. 24, вып. 6, с. 770—775.
4. Гриченко А. А., Ельшин А. И. Теор. основы хим. технологии, 1981, т. 15, № 1, с. 98—104.

Кафедра
химической техники и
технологии нефти и газа

Поступила в редакцию
25 марта 1983 года