ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 66.065.56+66.067

ПРОМЫВКА ОСАДКОВ С ВЫТЕСНЕНИЕМ МАТОЧНОГО
 РАСТВОРА ПРОМЫВНОЙ ЖИДКОСТЬЮ

С. Б. БАДАЛЯН и С. О. НАЛЧАДЖЯН

Выведена формула для приближенного расчета режимов противоточной промывки осадков с применением вытеснения маточного раствора промывной жидкостью в слоях осадков на фильтрах. Приведен способ экспериментального определения коэффициентов проскока промывной жидкости при промывке слоев осадков на фильтре — параметры, необходимые для расчетов. Опыты осуществлены на кремнегеле в содовой среде.

Показано, что при практических значениях коэффициентов проскока промывной жидкости применение промывки осадков на фильтрах дает значительную экономию средств.

В химических производствах часто осуществляется процесс разделения суспензии на нерастворимый осадок и раствор, содержащий растворенные компоненты. После фильтрования в осадке остается определенное количество маточного раствора, для удаления которого осадок или дополнительно промывается на фильтре, или взмучивается и фильтруется противотоком. Промывка осадка на фильтре удобна с технологической точки зрения и экономична, но при необходимости глубокой промывки осадка от маточного раствора и при наличии существенной адсорбции растворимых компонентов твердой фазой осадка приходится применять повторные взмучивания и фильтрования.

Предварительный расчет пределов оптимального режима на основе лабораторных данных значительно сокращает объем опытно-заводских исследований и исключает возможность ошибок.

Необходимое число промывок (взмучиваний и фильтрования) при противоточном режиме без промывки осадков на фильтрах по Бруку (1) определяется следующей формулой [1]:

$$n = \frac{\lg \left[\frac{K_{\phi}}{K_k} (d - 1) + 1 \right]}{\lg d}, \quad (1)$$

где n — число промывок, K_{ϕ} — концентрация исходного маточного раствора, K_k — концентрация маточного раствора в промытом осадке, d — соотношение объема жидкости, применяемой при каждом взмучивании, к объему жидкости, оставшейся в осадках.

В практических условиях промывка осадка на фильтре применяется и при противоточной промывке со взмучиванием, что не учтено в формуле Брука.

Ниже приводится вывод приближенной формулы для расчета режимов противоточной промывки с применением промывки на фильтре частью фильтрата от ступени, предыдущей по направлению движения жидкости.

В выводе формулы учтено также наличие адсорбции растворимого компонента твердой фазой осадка.

Применяем следующие обозначения: B — объем жидкости в осадке, $ж$ — объем жидкости, применяемой для взмучивания, V — объем жидкости, применяемой для промывки осадка на фильтре, ΔV — объем проскока применяемой жидкости (от V), α — коэффициент адсорбции растворимого компонента твердой фазой осадка (по формуле 2), G_n , G_m — количество растворимого компонента в осадке, Φ_n , Φ_m — количества растворимого компонента в фильтрате, относящиеся к единице веса нерастворимой части твердой фазы осадков; C_n , D_n — концентрация жидкой фазы по ступени n ; n , m — порядковые обозначения жидких фаз по направлению движения жидкости, начиная от исходной промывной жидкости.

В приближенном расчете принимаем, что количество адсорбированного твердой фазой осадка растворимого компонента пропорционально концентрации жидкой фазы.

В этом случае общее количество растворимого компонента в осадке можно представить следующей формулой:

$$G_m = \alpha D_m + B D_m \quad (2)$$

или

$$G_m = (\alpha + B) D_m. \quad (2')$$

Если осуществить промывку на фильтре жидкой фазой предыдущей ступени и принять, что ΔV — объем промывной жидкости, проходящей через слой осадка, не вытесняя маточного раствора, то для G_m получаем следующее выражение:

$$G_m = [\alpha + B - (V - \Delta V)] D_m + D_{m-1} (V - \Delta V). \quad (2'')$$

Концентрация получаемого при этом фильтрата будет отличаться от D_m , концентрации маточника осадка, вследствие некоторого разбавления за счет проскока промывной жидкости в количестве ΔV с концентрацией D_{m-1} . Для расчета можем принять эквивалентную данным условиям математическую схему представления процесса промывки осадка с проскоком промывной жидкости. Принимаем, что взмучивание осуществляется количеством жидкости, равным не $ж$, а $ж + (\Delta V + \Delta V')$, а промывка осадка осуществляется объемом жидкости, равным $V - (\Delta V + \Delta V')$, без проскока. При этом, наряду с разбавлением фильтрата объемом промывной жидкости, равным ΔV , представляется разбавление маточного раствора в осадке объемом

$\Delta V'$, приводящее концентрацию маточника к значению, равному концентрации фильтрата.

По условиям сохранения количества компонентов в осадке и фильтрате имеем следующую зависимость:

$$\frac{\Delta V'}{\Delta V} = \frac{B - V + \Delta V}{\mathcal{K} + V - \Delta V} \quad (3)$$

или

$$\frac{\Delta V' + \Delta V}{\Delta V} = \frac{\mathcal{K} + B}{\mathcal{K} + V - \Delta V} \quad (4)$$

Если обозначить $\Delta V + \Delta V' = \Delta V_B$, где ΔV_B — предполагаемое количество дополнительно применяемого для репульсации объема жидкости из V , то получим:

$$\Delta V_B = \frac{\Delta V(\mathcal{K} + B)}{\mathcal{K} + V - \Delta V} \quad (5)$$

Выражение для G_m в этом случае равно

$$G_m = [B + \alpha - (V - \Delta V_B)] D_m + D_{m-1}(V - \Delta V_B), \quad (6)$$

где G_m обозначает концентрацию фильтрата с учетом разбавления за счет проскока (ΔV).

Расчет не учитывает дополнительной десорбции за счет „разбавления“ маточного раствора в осадке.

Количество растворенного компонента в фильтрате Φ_m — будет следующее:

$$\Phi_m = (\mathcal{K} + V) D_m \quad (7)$$

На ступень обработки m поступает фильтрат из ступени $(m-1)$ и осадок из ступени $(m+1)$. По условиям материального баланса имеем равенство:

$$\begin{aligned} (\mathcal{K} + V) D_{m-1} + [B + \alpha - (V - \Delta V_B)] D_{m+1} + D_m (V - \Delta V_B) = \\ = (\mathcal{K} - V) D_m + [B + \alpha (V - \Delta V_B)] D_m + D_{m-1} (V - \Delta V_B), \end{aligned} \quad (8)$$

преобразование которого дает

$$\frac{D_{m+1} - D_m}{D_m - D_{m-1}} = \frac{\mathcal{K} + \Delta V_B}{B + \alpha - (V - \Delta V_B)} \quad (8')$$

Вводим следующие коэффициенты:

$$K_1 = \frac{\mathcal{K}}{B}; \quad K_2 = \frac{V}{B}; \quad K_3 = \frac{\Delta V}{V}; \quad K_4 = \frac{V - \Delta V_B}{B};$$

$$K_5 = \frac{\alpha}{B} \quad \text{и} \quad M = \frac{D_{m+1} - D_m}{D_m - D_{m-1}}.$$

Как видно из формулы (8'), M постоянная величина, не зависящая от m для данных условий промывки.

Выразив M через вводимые коэффициенты, получим:

$$M = \frac{K_1 + K_2 - K_4}{1 + K_3 - K_4}. \quad (9)$$

Для K_4 имеем:

$$K_4 = K_2 - \frac{K_2 \cdot K_3 (K_1 + 1)}{K_1 + K_2 - K_2 \cdot K_3}. \quad (10)$$

Из условия

$$M = \frac{D_{m+1} - D_m}{D_m - D_{m-1}} \quad (11)$$

получаем

$$D_m = D_1 + (D_2 - D_1) \frac{M^{m-1} - 1}{M - 1}. \quad (12)$$

По принятому нами порядку обозначения ступеней обработки количество filtrаций с учетом фильтрации исходной суспензии — $(m - 1)$, выразится следующей формулой:

$$m - 1 = \frac{\log \left[\frac{D_m - D_1}{D_2 - D_1} (M - 1) + 1 \right]}{\log M}. \quad (13)$$

Для определения величины сокращения требуемых поверхностей фильтрации и числа обработок (взмучивание и фильтрация) при применении промывки осадков на фильтрах необходимо найти формулы для расчета обоих способов промывки.

При условии $K_2 = 0$ формула (13) примет следующий вид:

$$n - 1 = \frac{\log \left[\frac{C_n - C_1}{C_2 - C_1} (K_1 - 1) + 1 \right]}{\log K_1}, \quad (14)$$

где $n - 1$ — необходимые стадии фильтрации без промывки осадков на фильтре, т. е. имеем выражение, идентичное формуле (1), предложенной Бруком.

При сравнении количества растворимого компонента в промытом осадке принимаем в обоих случаях равными, следовательно, имеем:

$$[B + \alpha - (V - \Delta V_B)] D_2 + (V - \Delta V_B) D_1 = (B + \alpha) C_2. \quad (15)$$

Из равенства (15) и тождества

$$D_1 (B + \alpha) = C_1 (B + \alpha) \quad (16)$$

(так как $C_1 = D_1$) получаем следующее уравнение:

$$[B + \alpha - (V - \Delta V_B)] (D_2 - D_1) = (B + \alpha) (C_2 - C_1) \quad (17)$$

или, выражая уравнение коэффициентами

$$D_2 - D_1 = (C_2 - C_1) \frac{1 + K_3}{1 + K_3 - K_4}. \quad (18)$$

Замещая в формуле (13) выражение (18) для $(D_2 - D_1)$ и учитывая, что $D_1 = C_1$ и $D_m = C_n$, получаем

$$m - 1 = \frac{\log \left[\frac{C_n - C_1 (K_1 + K_2)}{C_2 - C_1} \left(\frac{1 + K_2}{1 + K_1} - 1 \right) + 1 \right]}{\log M}. \quad (19)$$

При расчете требуемых поверхностей фильтрации в одном и другом случае следует учитывать, что для фильтрации жидкости, находящейся в суспензии, требуется поверхности вдвое меньше, чем для пропускания такого же объема через уже образованный слой осадка за данный отрезок времени [2].

При фильтрации из пульпы объема жидкости, равного $\mathcal{J}$, требуется поверхность

$$S_n = \gamma \cdot \mathcal{J}, \quad (20)$$

где S_n — поверхность фильтрации, а γ — коэффициент, зависящий от скорости фильтрации в данных условиях.

Поверхность, требуемая для фильтрации объема жидкости $\mathcal{J}$ из пульпы и одновременной фильтрации промывной жидкости объемом V , выражается следующей формулой:

$$S_m = \gamma \cdot \mathcal{J} + 2\gamma V \quad \text{или} \quad S_m = \gamma (\mathcal{J} + 2V). \quad (21)$$

Требуемые поверхности фильтрации при противоточной промывке с применением промывки на фильтре (A_m) и без нее (A_n) будут

$$A_m = (m - 1) \gamma (\mathcal{J} + 2V), \quad (22)$$

$$A_n = (n - 1) \gamma \cdot \mathcal{J}. \quad (23)$$

Если во всех стадиях фильтрации и промывки скорости фильтрации неодинаковы, то в приближенных расчетах следует применять величину γ , соответствующую средней скорости фильтрации.

В таблице 1 приведены расчетные параметры сравнения двух способов промывки заданного осадка при разных практических значениях K_1 , K_2 и K_3 ; K_3 принято равным 1,1.

Полученные расчетные данные показывают, что при способе промывки на фильтре значительно сокращается требуемая поверхность фильтрации и еще больше — кратность обработки (взмучивание и фильтрация), даже при 20%-ном проскоке промывной жидкости. Эффективность растет с увеличением K_2 и уменьшением K_1 , а также с увеличением степени промывки осадка $(C_n - C_1)/(C_2 - C_1)$. Для предварительного расчета оптимального режима промывки заданного осадка необходимы лабораторные данные по коэффициенту проскока при промывке осадка на фильтре.

Ниже приводится пример лабораторного определения коэффициента проскока промывной жидкости при промывке на фильтре. Для

Таблица 1

$\frac{C_n - C_1}{C_2 - C_1}$	K_1	K_2	$n - 1$	$K_3 = 0$		$K_3 = 0,1$		$K_3 = 0,2$	
				$\frac{n-1}{m-1}$	$\frac{A_n}{A_m}$	$\frac{n-1}{m-1}$	$\frac{A_n}{A_m}$	$\frac{n-1}{m-1}$	$\frac{A_n}{A_m}$
				10	1,6	0,85	4,56	3,28	1,59
100	1,6	0,85	10,25	3,8	1,84	3,39	1,64	2,98	1,44
1000	1,6	0,85	16,3	4,25	2,06	3,64	1,76	3,21	1,56
10000	1,6	0,85	22,45	4,41	2,14	3,81	1,85	3,34	1,62
10	1,6	1,05	4,56	—	—	3,96	1,72	2,75	1,19
100	1,6	1,05	10,25	—	—	4,88	2,12	3,6	1,56
1000	1,6	1,05	16,3	—	—	5,26	2,28	4,0	1,73
10000	1,6	1,05	22,45	—	—	5,53	2,4	4,26	1,85
10	2,5	0,85	3,19	2,4	1,43	2,11	1,26	1,95	1,16
100	2,5	0,85	5,93	2,57	1,53	2,27	1,35	2,07	1,23
1000	2,5	0,85	8,73	2,63	1,57	2,33	1,39	2,15	1,28
10000	2,5	0,85	11,5	2,67	1,59	2,36	1,41	2,17	1,29
10	2,5	1,05	3,19	—	—	2,81	1,52	2,36	1,28
100	2,5	1,05	5,93	—	—	3,04	1,65	2,55	1,39
1000	2,5	1,05	8,73	—	—	3,14	1,71	2,64	1,44
10000	2,5	1,05	11,5	—	—	3,19	1,74	2,67	1,45

опытов нами был выбран коллоидный осадок, склонный к образованию трещин и капилляров—силикагель в содовой среде. Определение коэффициента проскока при промывке слоя осадка осуществлялось следующим образом. Фильтрация исходной суспензии прекращалась при исчезновении слоя жидкости над осадком путем прекращения вакуума и ввода под нутч атмосферного воздуха. На осадок осторожно наливалась промывная жидкость, и фильтрование продолжалось до образования в осадке трещин. Объем проскока промывной жидкости — ΔV — вычислялся по следующей формуле:

$$\Delta V = \frac{a_1 - a_2}{a_1 - a_0} \cdot V_\phi, \quad (24)$$

где a_1 и a_2 — концентрации жидкой фазы суспензии и фильтрата, получаемого после промывки, a_0 — концентрация промывной жидкости, V_ϕ — объем фильтрата, получаемого после добавки к осадку промывной жидкости и последующей фильтрации.

Формула вытекает из уравнения материального баланса:

$$V_\phi \cdot a_2 = (V_\phi - V) a_1 + (V - \Delta V) a_1 + \Delta V \cdot a_0. \quad (25)$$

Необходимо отметить, что в первой стадии фильтрации в осадке остается больше жидкой фазы, чем при доведении фильтрации до образования в осадке трещин во второй стадии фильтрации с промывкой (т. е. $V_\phi > V$).

Объемная доля жидкой фазы в осадке — $V_{ж}$ — вычислялась по следующей формуле:

$$V_x = \frac{10d_2 \cdot x}{1000d_1 - g}$$

где d_1 — удельный вес фильтрата ($г/см^3$), d_2 — удельный вес осадка ($г/см^3$), x — влажность осадка в % и g — количество растворенных в фильтрате веществ ($г/л$), для которых были получены следующие данные; $x = 61\%$, $d_1 = 1,187\%$ $г/см^3$, $d_2 = 1,33$ $г/см^3$, $g = 213$ $г/л$. Соответствующее значение $V_x = 0,832$.

Опыты осуществлялись при толщине слоя осадка 10 и 20 мм. Состав осадка, полученного при фильтрации исходной суспензии до образования трещин, следующий: SiO_2 — 24,45%, Na_2O — 1,95%, Na_2CO_3 — 13,40%, влажность — 61,00%.

Состав фильтрата: Na_2O — 1,92 моль/л, CO_2 — 2,12 моль/л.

Для фильтрации применялся нутч-фильтр с диаметром 11 см (поверхность — 95 $см^2$); фильтрующая ткань — хлопчатобумажная диагональ; вакуум — 500 мм рт. ст.

В таблице 2 приведены данные по промывке осадка на фильтре водой и растворами соды при толщине осадка 10 мм. Концентрации растворов определялись ацидиметрическим способом.

Таблица 2

№№ п/п	a_0 , моль/л	a_2 , моль/л	V , мл	V_{ϕ} , мл	ΔV , мл	$K_1 \cdot 100$	$K_2 \cdot 100$
1	0	1,90	20	30	0,312	25,3	1,56
2	0	1,83	40	50	2,35	50,6	5,87
3	0	1,79	60	73	5,02	75,6	8,35
4	0	1,73	80	90	8,90	101,2	11,10
5	0,3	1,91	20	30	0,185	25,3	0,92
6	0,3	1,87	40	48	1,48	50,6	3,7
7	0,3	1,83	60	70	3,89	75,6	6,47
8	0,3	1,75	80	90	9,45	101,2	11,8
9	0,5	1,91	20	30	0,211	25,3	1,05
10	0,5	1,88	40	50	1,41	50,6	3,53
11	0,5	1,84	60	70	3,94	75,9	6,56
12	0,5	1,78	80	92	9,08	101,2	11,35

В пределах ошибок опытов результаты, полученные при трех разных концентрациях промывной жидкости, совпадают, что указывает на отсутствие существенной десорбции натрия из силикагеля при промывке осадка на фильтре.

Опыты с толщиной осадка 20 мм осуществлялись только с водой. Результаты приведены в таблице 3.

Как видно из полученных экспериментальных данных, значения K_2 , соответствующие коэффициенту вытеснения маточника из силикагелевого осадка, близкие к единице, находятся в пределах, дающих возможность по таблице 1 эффективно применять вытеснение маточника осадков при промывке силикагеля.

Таблица 3

a_2	V	V_{ϕ}	ΔV	$K_1 \cdot 100$	$K_2 \cdot 100$
1,89	120	135	2,1	76,0	1,33
1,85	128	142	5,17	81,0	3,27
1,81	136	147	8,4	86,0	5,32
1,75	144	155	13,7	91,0	8,67
1,71	152	166	17,7	96,0	11,20
1,51	160	172	36,3	101,0	22,90
1,46	168	180	42,6	106,0	27,0

Ереванский научно-исследовательский
институт химии

Поступило 8 II 1966

ՆՍՏՎԱԾՔՆԵՐԻ ԼՎԱՑՈՒՄԸ ԼՎԱՑՈՂ ՀԵՂՈՒԿՈՎ ՄԱՅՐ ԸՈՒՑՈՒՅԹԻ ԱՐՏԱՄՂՈՒՄՈՎ

Ս. Բ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ Լ Ս. Շ. ՆԱԼՉԱԶՅԱՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Նստվածքների հակահոսանքային վազման պայմանների մոտավոր հաշվման համար ստացված է բանաձև, երբ ֆիլտրման պրոցեսում միաժամանակ կիրառվում է նստվածքների շերտերից վազող հեղուկով մալր լուծույթի արտամղում: Լվազման պարամետրերը հաշվելու համար բերված է ֆիլտրի վրա նստվածքների շերտերից մալր լուծույթի արտամղման ժամանակ վազող հեղուկի ապարդյուն անցման գործակցի փորձնական որոշման եղանակ: Փորձերը կատարվել են սողային լուծույթում գտնվող սիլիկազելի հետ: Հաշվումներով ցույց է արված, որ գործնական պայմաններում ֆիլտրի վրա նստվածքների շերտերի վազումը տալիս է միջոցների զգալի խնայողութուն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Л. О. Брук, Хим. пром., № 8, 42 (1960)..
2. В. А. Жужиков, Филترование, ГХИ, Москва, 1961..