

Уравнение (4) можно представить в следующем виде:

$$Q = Q_M / (I / I_H)^n. \quad (5)$$

Анализ экспериментальных кривых «разрядная емкость элемента – средний ток разряда» свидетельствует, что они хорошо описываются гиперболической функцией, которую получают из уравнения (5):

$$Q = Q_M th(I / I_H)^n / (I / I_H)^n \quad (6)$$

Действительно, уравнение (6) переходит в уравнение Пейкerta (5):

- 1) при $I \gg I_H$ $th(I/I_H)^n \rightarrow I$ мы получаем уравнение (5);
- 2) при $I \ll I_H$ $th(I/I_H)^n / (I/I_H)^n \rightarrow 1$ разрядная емкость элемента Q стремится к значению Q_M .

По экспериментальным данным разряда элементов ОВЛ-2325, ВСЛ-2325 и ДСЛ-2325 по уравнению (6), с учетом методов приближения функций, получены соответствующие аналитические зависимости:

- для элемента ОВЛ-2325: $Q = 328 th(I / 0,99)^{0,73} / (I / 0,99)^{0,73}$;
- для элемента ВСЛ-2325: $Q = 330 th(I / 1,42)^{0,81} / (I / 1,42)^{0,81}$;
- для элемента ДСЛ-2325: $Q = 158 th(I / 0,80)^{0,61} / (I / 0,80)^{0,61}$.

По полученным аналитическим зависимостям легко может быть проведено сравнение электрических характеристик ХИТ. Так, для элементов ОВЛ-2325 и ВСЛ-2325 при приблизительно одинаковых величинах максимальной и номинальной емкости, значения номинального тока значительно отличаются в пользу элемента ВСЛ-2325, у которого $I_H=1,42$ мА, против $I_H=0,99$ мА для элемента ОВЛ-2325. Поэтому, элемент ВСЛ-2325 отдает 76% максимальной емкости при токовой нагрузке почти в 1,5 раза большей, чем для элемента ОВЛ-2325.

По полученным зависимостям можно прогнозировать емкости ХИТ на средние и низкие нагрузки по току. При этом используют следующие соотношения, получаемые путем преобразования формулы Пейкerta для двух значений Q и I :

$$n = \frac{\lg Q_2 - \lg Q_1}{\lg I_1 - \lg I_2}, \quad K = Q_1 I_1^n = Q_2 I_2^n, \quad I_H = (K / Q_M)^{1/n}.$$

На основе предложенной методике было разработано программное обеспечение для автоматизированного расчета разрядных характеристик ХИТ в программной среде JAVA.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ ПРИ ВВЕДЕНИИ РАЗБАВИТЕЛЯ

Брановицкая С.В., Бондаренко С. Г.

Национальный технический университет Украины «КПИ», sgb@xtf.ntu-kpi.kiev.ua

Разделение высоковязких суспензий вызывает определенные трудности в различных отраслях промышленного производства. Понижение вязкости таких суспензий осуществляется введением разбавителя в исходную суспензию. При введении разбавителя вязкость жидкой фазы суспензии уменьшается, что приводит к повышению скорости процесса разделения. С другой стороны введение разбавителя приводит к увеличению объема разделяемой суспензии, а, следовательно, и времени процесса разделения. Таким образом, указанные факторы действуют на продолжительность операции разделения в противоположном направлении. В каждом конкретном случае существует определенная степень разбавления исходной суспензии, при которой продолжительность операции разделения достигает минимума, а производительность установки, на которой проводят

разделение, становится наибольшей. Следовательно, при определении оптимальных условий ведения операции разделения необходим учет всех параметров процесса, вызывающих изменение его продолжительности.

Условия получения максимальной производительности установки разделения обычно отличаются от экономически целесообразного режима работы установки. Эффективность функционирования установки может быть оценена с помощью экономического критерия – затрат на проведение операции разделения. Также затраты на операцию разделения будут зависеть и от конкретного аппарата, в котором данный процесс проводят, и условий его работы (например, при разделении в центрифуге на время процесса будет влиять скорость ее вращения, при разделении на фильтре – перепад давлений на фильтровальной перегородке).

Правильный выбор количества разбавителя должен быть произведен на основе минимальных затрат на проведение операции разделения при обеспечении заданного технологического результата в процессе разделения (имеется в виду, что качественные показатели конечного продукта – осадка (твердой фазы суспензии) или фильтрата (жидкой фазы суспензии) не должны быть ухудшены после введения разбавителя). Для ряда суспензий введение разбавителя может ухудшить качество конечного продукта. Поэтому на количество разбавителя должны быть наложены соответствующие ограничения. На параметры работы аппаратов, в которых проводят операцию разделения, также накладываются ограничения, соответствующие условиям эксплуатации данных аппаратов.

Математическая постановка задачи оптимизации процесса разделения имеет вид:

$$R^* \rightarrow \min Z_p(\bar{U}), \quad (1)$$

$$\bar{U} \in \Omega,$$

где R^* – оптимальное значение критерия; \bar{U} – вектор управляющих параметров; Ω – область допустимого изменения параметров; Z_p – затраты на проведение операции разделения.

Рассмотрим задачу оптимизации в такой постановке для фильтрования суспензии бисульфата графита $C_{24}^+HSO_4^- \cdot 2H_2SO_4$, полученной в результате обработки дисперсного графита смесью серной кислоты и окислителя. На фильтрование направляется вязкая сильноокислая суспензия (послереакционная смесь). В ней содержится до 16 – 20 % (объемных) дисперсной фазы интеркалированного графита. Для снижения вязкости суспензии и повышения скорости процесса фильтрования исходная суспензия разбавляется водой. Однако это приводит к вымыванию части интеркаланта из структуры интеркалированного графита, в результате чего изменяется морфологическая структура осадка и его сопротивление фильтрованию. Разбавленная суспензия разделяется на фильтре, а полученный осадок промывается водой для удаления остатков серной кислоты из его структуры, и далее в качестве конечного продукта направляется на последующую обработку.

Исследования фильтрования бисульфата графита [1] показали, что для описания этого процесса можно использовать уравнение Рута–Кармана, связывающее мгновенную скорость фильтрования с перепадом давления и общим сопротивлением:

$$\frac{dV}{Sd\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(r_0 x_0 \frac{V}{S} + R_{\phi n})}, \quad (2)$$

где V – объем фильтрата, m^3 ; τ – продолжительность фильтрования, с; S – поверхность фильтрования, m^2 ; ΔP – перепад давлений при фильтровании, Па; μ – динамическая вязкость жидкой фазы суспензии, Па·с, $R_{\phi n}$ – сопротивление фильтровальной перегородки, m^{-1} ; r_0 – среднее удельное сопротивление осадка, m^{-2} ; x_0 – отношение объема осадка к объему фильтрата.

Интегрирование уравнения (2) при $\Delta P = \text{const}$ позволяет получить время фильтрования:

$$\tau = \frac{\mu r_0 x_0}{2\Delta P} q^2 + \frac{\mu R_{\phi n}}{\Delta P} q, \quad (3)$$

где $q = V/S$ – объем фильтрата, получаемого с единицы фильтрующей поверхности, $\text{м}^3/\text{м}^2$.

Как видно из уравнения (3), время процесса τ и объем получаемого фильтрата V связаны квадратичной зависимостью. Величины r_0 , $R_{\phi n}$ и x_0 рассматривают как постоянные процесса фильтрования. Для каждой конкретной суспензии они определяются экспериментально. Проведенные экспериментальные исследования кинетики фильтрования бисульфата графита [1] при различных значениях перепада давлений при фильтровании ΔP и степени разбавления исходной суспензии g_p , которая определяется по формуле:

$$g_p = V_p/V_c,$$

где V_p – объем разбавителя, что вводится в исходную суспензию, V_c – объем полученной суспензии (суммарный объем исходной суспензии и разбавителя) с последующей аппроксимацией экспериментальных зависимостей методом наименьших квадратов, позволили получить зависимости постоянных процесса фильтрования от указанных параметров вида:

$$r_0 = \varphi_1(g_p, \Delta P), \quad R_{\phi n} = \varphi_2(g_p, \Delta P), \quad x_0 = \varphi_3(g_p, \Delta P). \quad (4)$$

Полученные зависимости позволяют проводить расчет процесса фильтрования бисульфата графита в широком диапазоне изменения параметров.

Изменение гидродинамических характеристик процесса фильтрования при разбавлении связано, прежде всего, с изменением вязкости фильтрата и концентрации дисперсной фазы. Динамическая вязкость μ жидкой фазы суспензии (фильтрата) при различных значениях степени разбавления исходной суспензии g_p определялась экспериментально и была аппроксимирована с помощью метода наименьших квадратов зависимостью вида:

$$\mu = \varphi_4(g_p). \quad (5)$$

Временные затраты на операцию разделения, которая проводится на фильтре, включают в себя следующие составляющие: временные затраты непосредственно на фильтрование τ_ϕ , временные затраты на промывку осадка τ_{np} и временные затраты на вспомогательные операции $\tau_{вс}$ (съем осадка и т.д.).

Рассмотрим величины, влияющие на затраты при проведении процесса фильтрования разбавленной суспензии:

$$Z_\phi = [(k_\phi \cdot \tau_\phi + k_{np} \cdot \tau_{np} + k_{вс} \cdot \tau_{вс}) + k_p \cdot V_p] \cdot n_\phi, \quad (6)$$

где τ_ϕ , τ_{np} , $\tau_{вс}$ – продолжительность фильтрования суспензии, промывки осадка и вспомогательных операций соответственно за один цикл работы фильтровальной установки; k_ϕ , k_{np} , $k_{вс}$ – удельные затраты на фильтрование, промывку и вспомогательные операции соответственно; V_p – объем разбавителя, который используется в одном цикле; k_p – затраты на 1 м^3 разбавителя; n_ϕ – число циклов работы фильтровальной установки за 1 год работы.

Однако для одного и того же количества исходной суспензии (независимо от того введен в суспензию разбавитель или нет) слой осадка, образовавшийся на фильтре, можно принять постоянным, а следовательно и объем промывных вод будет постоянен. Таким образом, временные затраты на промывку осадка τ_{np} и временные затраты на вспомогательные операции $\tau_{вс}$ также будут постоянны, что следует учесть при решении задачи оптимизации.

Рассмотрим величины, влияющие на время процесса фильтрования. Как следует из уравнения (3), время процесса фильтрования определяется: удельным объемом фильтрата – q ; перепадом давлений при фильтре – ΔP ; постоянными процесса фильтрования – $r_0, R_{фп}, x_0$; вязкостью фильтрата – μ . При этом, постоянные процесса фильтрования и вязкость фильтрата, согласно зависимостям (4) и (5), можно выразить через значения ΔP и g_p . Количество фильтрата, прошедшее через фильтр будет зависеть от объема исходной суспензии и степени ее разбавления g_p . Параметр g_p также позволяет учесть и объём разбавителя V_p . Отсюда видно, что параметры $q, \Delta P$ и g_p в значительной степени влияют на время проведения процесса фильтрования.

Таким образом, в качестве варьируемых переменных в общем случае следует принять:

$$\bar{U} = \{q, \Delta P, g_p\}.$$

С учетом того, что задачу оптимизации будем решать для конкретного фильтра (задана площадь фильтровальной перегородки S) и заданного объема суспензии V_S (объем фильтрата V вычисляется как разность между объемом суспензии V_S и объемом осадка V_{oc} из уравнения материального баланса, а удельный объем фильтрата – как $q = V/S$), то в качестве варьируемых переменных примем: $\bar{U} = \{\Delta P, g_p\}$. Диапазоны варьирования управляющих параметров выбирают на основании эксплуатационных и технологических требований к оборудованию и режимам проведения процесса фильтрования. Они формируют область Ω . На данные параметры ограничения накладываются в виде следующих неравенств:

$$\Delta P_{\min} \leq \Delta P \leq \Delta P_{\max} \text{ и } g_{p\min} \leq g_p \leq g_{p\max}. \quad (7)$$

Указанный критерий оптимальности использован при выборе параметров процесса фильтрования на нутч-фильтре бисульфата графита в технологии получения терморасширенного графита.

Задача оптимизации (1)–(7) была решена комплексным методом Бокса, предназначенным для решения задач нелинейного программирования с ограничениями - неравенствами, которую в общем виде можно сформулировать так:

минимизировать $f(\bar{x})$, где $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ при наличии явных ограничений:

$$l_j \leq x_j \leq u_j. \quad (8)$$

Для минимизации функции n переменных $f(\bar{x})$ в n -мерном пространстве строят выпуклые многогранники, содержащие больше, чем $n+1$ вершину. По Боксу число вершин должно составлять $k=2n$ (применительно к нашей задаче: $n=2$, а $k=4$).

Алгоритм комплексного поиска минимума состоит в следующем. В качестве первой вершины начального комплекса выбирается некоторая допустимая точка $\bar{x}_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n})$, то есть точка, удовлетворяющая ограничениям (8). Координаты остальных $(k-1)$ вершин комплекса определяются соотношением:

$$x_{ij} = l_j + r_j(u_j - l_j),$$

где x_{ij} – j -ая координата i -ой точки; $i = 2, 3, \dots, k$; $j = 1, 2, \dots, n$; r_j – псевдослучайные числа, равномерно распределенные в интервале (0; 1).

Полученные таким образом точки удовлетворяют ограничениям (8). Процедура повторяется до тех пор, пока не выполняются все ограничения задачи. Затем на каждой итерации заменяется вершина \bar{x}_h , в которой значения целевой функции $f(\bar{x})$ имеет наибольшую величину. Для этого \bar{x}_h отражается относительно центра тяжести \bar{x}_c остальных вершин комплекса. Точка \bar{x}_r , заменяющая вершину \bar{x}_h , определяется по формуле: $\bar{x}_r = \bar{x}_c + \alpha(\bar{x}_c - \bar{x}_h)$, где α – коэффициент отражения ($\alpha > 1$, по мнению Бокса $\alpha=1,3$), а

$$\bar{x}_c = \frac{1}{k-1} \left(\sum_1^k \bar{x}_r - \bar{x}_h \right).$$

Если \bar{x}_r допустимая точка и $f(\bar{x}_r) < f(\bar{x}_h)$ то точка \bar{x}_h заменяется на \bar{x}_r ; если же $f(\bar{x}_r) > f(\bar{x}_h)$, то есть «хуже», чем наибольшее значение, полученное ранее, то точка \bar{x}_r смещается к центру тяжести \bar{x}_c на половину расстояния между ними, а затем выполняется проверка на допустимость. Вычисления заканчиваются если значения целевой функции практически не изменяются, т. е:

$$|f(\bar{x}_i^{k+1}) - f(\bar{x}_i^k)| \leq \varepsilon,$$

где ε – заданная точность; $i=1, 2, \dots, k$.

Выбор комплексного метода Бокса для решения задачи оптимизации обусловлен его простотой, надежностью работы и удобством для программирования. Он хорошо зарекомендовал себя для решения различных задач нелинейного программирования. Метод на каждом шаге использует информацию только о значениях целевой функции и функции ограничений задачи.

Описанный алгоритм был положен в основу программного модуля, который реализован с помощью объектно-ориентированного языка программирования Visual Basic for Application. Разработанный программный модуль использован для поиска оптимальных значений степени разбавления исходной суспензии и перепада давлений при проведении процесса фильтрования. В результате поиска оптимальных значений параметров процесса фильтрования для условия минимума приведенных затрат на проведение процесса при заданных технологических ограничениях на параметры получены следующие оптимальные значения параметров: степени разбавления исходной суспензии, которая составляет $g_{\text{опт}} = 0,7$ и оптимального перепада давлений на фильтре, равного $\Delta P_{\text{опт}} = 60$ кПа. При этом перепад давлений (кПа) варьировался в следующих пределах – $20 \leq \Delta P \leq 60$, а степень разбавления исходной суспензии $g_p - 0,5 \leq g_p \leq 0,9$.

1. *Бондаренко, С. Г.* Исследование процесса фильтрования интеркалированного графита [Текст] / С. Г. Бондаренко, Г. А. Статюха, И. Г. Черныш // Химическая технология.- 1990. - № 6.-С. 43-48.

ОПЕРАТИВНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНІВ

Бондаренко С.Г., Степанов М.Б., Василькевич О.І., Степанов Д.М.

Національний технічний університет України «КПІ», sgb@xtf.ntu-kpi.kiev.ua

Бензин є найбільш поширеним видом моторного палива і є вуглеводневим середовищем, яке добувається з нафти. Основними показниками якості бензинів є фракційний склад, тиск насиченої пари, густина і детонаційна стійкість. Фракційний склад характеризується температурами початку кипіння і відгонки при стандартній перегонці. Ці точки визначають умови запуску двигуна, форсування після прогрівання і повноту згорання палива. Головним показником якості бензину є детонаційна стійкість, яка визначає здібність палива до нормального горіння, що не супроводжується процесами вибухового характеру. Кількісним показником детонаційної стійкості є октанове число. Від детонаційної стійкості залежать ступінь стиснення паливно-повітряної суміші в циліндрах, потужність двигуна, що розвивається, і питома витрата палива. Вимоги, що пред'являються до бензинів, дуже різноманітні і викладені у відповідних ДСТУ і у довідковій літературі. В Україні крім шести великих НПЗ існує багато міні-заводів, які випускають продукцію значно гіршої якості, ніж