

УДК 66.067.52:637.232.152

ГИДРОМЕХАНИКА

Дж. С. Торосян

Исследование распределения жидкости по комплекту вставок при тонкослойном центрифугировании

(Представлено академиком АН Армянской ССР Г. С. Саакяном 6/II 1985)

Распределение разделяемой жидкой гетерогенной системы по высоте пакета вставок при тонкослойном центрифугировании имеет важное значение при конструировании сепаратора с оптимальными параметрами, а также при моделировании процесса разделения (1).

До настоящего времени при исследовании распределения жидкости по высоте пакета вставок волновые процессы, неизбежно возникающие при этом, не принимались во внимание. Это обуславливается тем, что разделению подвергают жидкую гетерогенную систему, и в связи с наличием неоднородной плотности состава компонентов разделяемых систем неизбежно возникает волновое движение (2-5).

Рассмотрим внутренние волны в шламовом пространстве центробежного сепаратора при периферийном питании комплекта вставок жидкой гетерогенной системой.

Пусть ротор центробежного сепаратора вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью ω . Обозначим внутренний радиус ротора R_2 , наибольший радиус пакета вставок R_1 , радиус невозмущенной поверхности раздела между двумя жидкостями R_0 , плотности жидкостей ρ_1 и ρ_2 , причем $\rho_2 > \rho_1$. Рассмотрим случай, когда жидкости различной плотности определенных объемов находятся в шламовом пространстве центробежного тарельчатого сепаратора. Тогда уравнение возмущенной поверхности раздела двух жидкостей с различными плотностями записывают в виде (2,3)

$$\xi = R_0 + a \sin(n\theta - \sigma t), \quad (1)$$

где a и n — постоянные величины; θ — полярный угол; t — время; σ — круговая частота.

Рассмотрим потенциальное и безвихревое движение идеальной жидкости. В этом случае потенциалы для легкой φ_1 и тяжелой φ_2 жидкостей запишем в виде

$$\varphi_1 = [c_1 J_n(\chi r) + c_2 Y_n(\chi r)] \cos(n\theta - \sigma t), \quad (2)$$

$$\varphi_2 = [c_3 J_n(\chi r) + c_4 Y_n(\chi r)] \cos(n\theta - \sigma t), \quad (3)$$

где $c_1 + c_4$ — произвольные постоянные; $J_n(\chi r)$ и $Y_n(\chi r)$ — бесселевы функции первого и второго родов порядка n ; r — радиус рассматриваемого слоя жидкости в шламовом пространстве; χ — величина, определяемая равенством (4)

$$\chi = [(\sigma^2 - 4\omega^2)/(R_0 l \omega^2)]^{0.5}, \quad (4)$$

где λ — высота шламового пространства.

Рассмотрим линеаризованную задачу (4,5); тогда пренебрегая величиной $a^2 \sin^2(n\theta - \sigma t)$ в связи с тем, что $a \ll R_0$, на основании уравнения (1) имеем

$$r^2 = \xi^2 \approx R_0^2 + 2aR_0 \sin(n\theta - \sigma t). \quad (5)$$

В этом случае на основании выражений (2), (3) и (5) уравнения гидромеханики запишем в виде (2,4,5):

$$p_1 = -\rho_1 \sigma [c_1 J_n(\chi r) + c_2 Y_n(\chi r)] \sin(n\theta - \sigma t) + \rho_1 \omega^2 R_0^2 / 2 + \rho_1 R_0 a \omega^2 \sin(n\theta - \sigma t) + \text{const}; \quad (6)$$

$$p_2 = -\rho_2 \sigma [c_3 J_n(\chi r) + c_4 Y_n(\chi r)] \sin(n\theta - \sigma t) + \rho_2 \omega^2 R_0^2 / 2 + \rho_2 R_0 a \omega^2 \sin(n\theta - \sigma t) + \text{const}, \quad (7)$$

где p_1 и p_2 — давление жидкости на рассматриваемом радиусе для легкой и тяжелой жидкостей; v_1 и v_2 — скорости частичек легкой и тяжелой жидкостей.

Рассмотрим физические условия на поверхности раздела рассматриваемых жидкостей плотностью ρ_1 и ρ_2 в шламовом пространстве центробежного тарельчатого сепаратора, которое представим в виде (4,5)

$$p_1 = p_2 \quad \text{и} \quad \xi_1 = \xi_2, \quad (8)$$

а граничные условия в виде (2,3)

$$\left. \frac{\partial \varphi_1}{\partial r} \right|_{r=R_1} = 0 \quad (9); \quad \left. \frac{\partial \varphi_2}{\partial r} \right|_{r=R_2} = 0 \quad (10); \quad \left. \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right|_{r=R_0} = \frac{\partial \xi}{\partial t}. \quad (11)$$

Получим дисперсионное соотношение

$$\sigma^2 = R_0 \omega^2 \chi (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_1 F_1 - \rho_2 F_2), \quad (12)$$

где

$$F_1 = \frac{J_n(\chi R_0) Y_n'(\chi R_1) - Y_n(\chi R_0) J_n'(\chi R_1)}{J_n'(\chi R_0) Y_n(\chi R_1) - Y_n'(\chi R_0) J_n(\chi R_1)}; \quad (13)$$

$$F_2 = \frac{J_n(\chi R_0) Y_n'(\chi R_2) - Y_n(\chi R_0) J_n'(\chi R_2)}{J_n'(\chi R_0) Y_n(\chi R_2) - Y_n'(\chi R_0) J_n(\chi R_2)}. \quad (14)$$

Соотношение (12) связывает конструктивно-механические параметры ротора центробежного тарельчатого сепаратора с физическими свойствами жидкостей. При этом круговая частота σ существенно зависит от напряженности поля центробежных сил инерции $\omega^2 R_0$, радиусов заполнения шламового пространства R_2 и R_1 и постоянной величины χ . Как следует из дисперсионного соотношения (12), при определенных параметрах σ принимает комплексное значение, которому соответствует потеря устойчивости слоя поверхности раздела жидкостей с различной плотностью в шламовом пространстве центробежного тарельчатого сепаратора. Этому условию соответствует такая критическая высота пакета вставок, при которой еще наблюдается линейная связь между производительностью центробежного тарельчатого сепаратора

ротора' и количеством межвставочных пространств (высота пакета вставок).

Экспериментальные исследования процесса тонкослойного сепарирования показывают, что при определенном количестве межвставочных пространств наступает критическое состояние потока жидкости, питающей пакет вставок ротора центробежного тарельчатого сепаратора. На рис. 1 изображены результаты экспериментальных данных, полученные при разделении суспензии азокрасителя бордо «Ж» с исходной массовой концентрацией дисперсной фазы 0,13% на сепараторе ОТ—ОР—230, ротор которого снабжали различными пакетами, отличающимися наибольшим диаметром тарелок (при наименьшем диаметре тарелок 0,066 м расстояние между тарелками $0,5 \cdot 10^{-3}$ м), м: 0,1; 0,12; 0,15. Угловую скорость вращения ротора поддерживали постоянной—950 рад/с. Отношение диаметра шламового пространства к наибольшему диаметру вставок во всех опытах составляло 1,16. В каждой серии экспериментов изменяли производительность сепаратора. Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что при достижении определенного количества межвставочных пространств прямо пропорциональная связь $Q=f(z)$ (Q —производительность сепаратора; z —количество межвставочных пространств) резко нарушается и дальнейшее увеличение z не приводит к повышению величины Q . В качестве примера на рис. 2 показана зависимость производительности сепаратора Q от количества межвставочных пространств z при различных качествах разделения.

Условие, при котором нарушается равномерная загрузка межвставочных пространств центробежных сепараторов при тонкослойном центрифугировании жидкой гетерогенной системы, определяется из дисперсионного соотношения (12). Подставляя значение величины χ из выражения (4) в равенство (12), имеем

$$R_0 l \omega^2 \sigma^4 - \lambda^2 \sigma^2 + 4 \omega^2 \lambda^2 = 0, \quad (15)$$

где
$$\lambda = R_0 \omega^2 (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_1 F_1 - \rho_2 F_2). \quad (16)$$

Из биквадратного уравнения (15) получаем

$$\sigma^2 = \frac{\lambda^2 \pm (\lambda^4 - 16 \omega^4 R_0 l \lambda^2)^{0,5}}{2 R_0 l \omega^2}. \quad (17)$$

Из уравнения (17) следует, что при значениях

$$16 \omega^4 R_0 l \lambda^2 - \lambda^4 > 0 \quad (18)$$

волновое движение слоя жидкости в шламовом пространстве ротора центробежного сепаратора, который питает пакет вставок жидкой гетерогенной системой, теряет устойчивость⁽⁸⁾. Это обстоятельство выражается в том, что начиная с определенной высоты, считая с места поступления жидкости в шламовое пространство ротора сепаратора, межвставочные пространства будут недогруженными, т. е. не участвуют практически в процессе тонкослойного сепарирования. Из неравенства (18) получаем

$$l > \frac{R_0}{16} \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 F_1 - \rho_2 F_2} \right)^2. \quad (19)$$

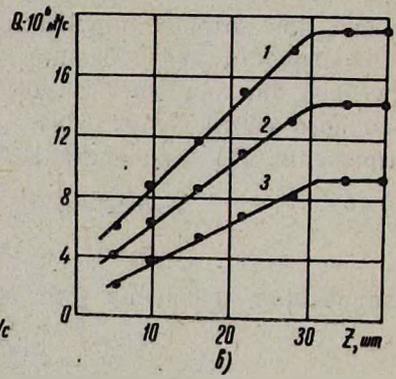
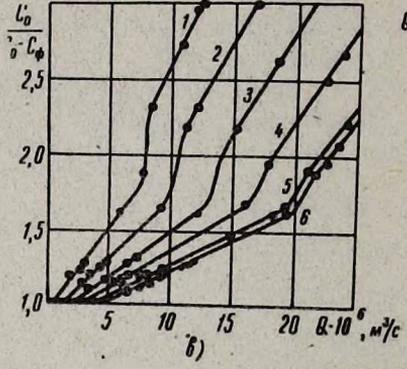
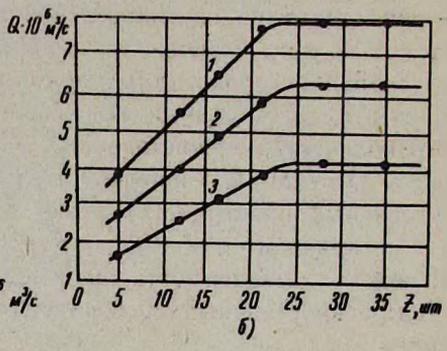
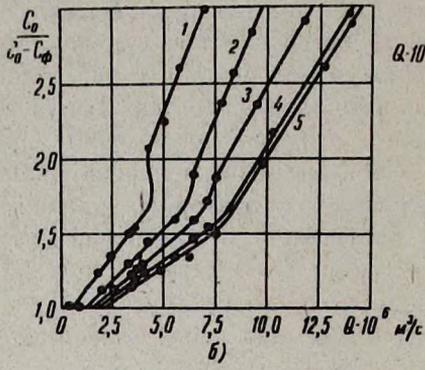
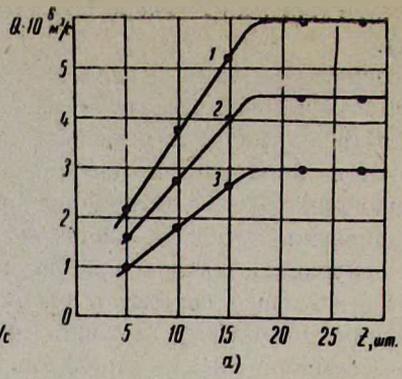
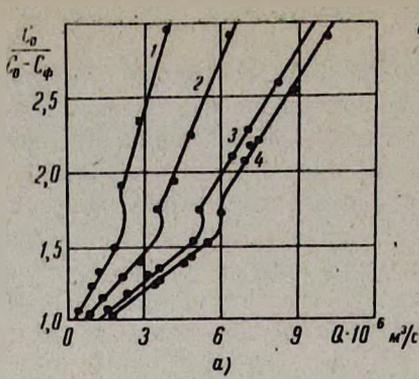


Рис. 1. Зависимость $c_0/(c_0 - c_{\phi}) = f(Q)$ (c_0 и c_{ϕ} — содержание дисперсной фазы до и после разделения; Q — производительность аппарата; a — наибольший диаметр вставок 0,1 м при количестве вставок: 1—5; 2—10; 3—15; 4—22; b — наибольший диаметр вставок 0,12 м при количестве вставок: 1—5; 2—12; 3—16; 4—21; 5—28 и 35; v — наибольший диаметр вставок 0,15 м при количестве вставок: 1—5; 2—10; 3—16; 4—22; 5—28; 6—35 и 40

Рис. 2. Зависимость $Q = f(z)$ при $c_0/(c_0 - c_{\phi})$: 1—1,6; 2—1,4; 3—1,2 для вставок с наибольшим диаметром, м: a —0,1; b —0,12; v —0,15

Из выражения (19) следует, что если неравенство имеет место, т. е. если межвставочные пространства расположены в роторе сепаратора выше отметки, определяемой величиной l по высоте пакета вставок, то вышележащие межвставочные пространства не будут участво-

вать в процессе тонкослойного сепарирования, следовательно, эти межвставочные пространства не должны учитываться при моделировании процесса. На основании экспериментальных данных по сепарированию высокодисперсных суспензий азопигментов на центробежных сепараторах различными геометрическими размерами пакета вставок установлено (наименьший диаметр тарелок у всех пакетов составлял 0,066 м), что отношение длины вдоль пакета тарелок l к среднему радиусу слоя питающей пакет жидкости R_0 составляет примерно

$$l/R_0 \approx 0,61; 0,66; 0,75 \quad (20)$$

для пакетов с наибольшим диаметром тарелок, соответственно, м: 0,1; 0,12 и 0,15.

Ленинakanский государственный
педагогический институт
им. М. Налбандяна

Ջ. Ս. ԹՈՐՈՍՅԱՆ

**Նուրբ-շերտային կենտրոնախույս բաժանման դեպքում հեղուկի
բաշխման հետազոտությունը վերադիրների հավաքածուի մեջ**

Ուսումնասիրված են ներքին ալիքները կենտրոնախույս զատիչ մեքենայի շրամային տարածությունում: Ստացված է կենտրոնախույս մեքենայի ոտորում եղած վերադիրների հավաքածուն սնող հեղուկի անկայուն շարժման առաջացման պայմանը, որն արտահայտվում է միջափսհային տարածություններով հեղուկի բաշխման հավասարաչափության խախտմամբ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ В. И. Соколов, Центрифугирование, Химия, М., 1976. ² Д. С. Торосян, в кн.: Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред, Изд-во АН АрмССР, 1984. ³ Д. С. Торосян, Изв. АН АрмССР. Физика, т. 19, вып. 1 (1984). ⁴ Л. Н. Сретенский, Теория волновых движений жидкости, Наука, М., 1977. ⁵ Г. Ламб, Гидродинамика, ОГИЗ, М.—Л., 1947. ⁶ Д. Джозеф, Устойчивость движений жидкости, Мир, М., 1981.