

УДК 66.067.52:637.232.152

## ГИДРОМЕХАНИКА

Д. С. Торосян

Исследование режимов разделения жидких  
неоднородных систем в центробежных сепараторах

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 2/XI 1981)

При разделении жидких неоднородных систем в ряде отраслей промышленности центробежные жидкостные тарельчатые сепараторы играют важную роль.

Одной из главных задач, стоящих перед нашей промышленностью, является создание современных центробежных тарельчатых сепараторов большой производительности при минимальных материальных затратах и получение с их помощью продукции, отвечающей лучшим мировым стандартам. Для этого необходимо тщательно исследовать режимы процесса сепарирования. Противоречивость свойств различных жидких неоднородных систем, подлежащих разделению, а также чрезвычайная сложность изучения процесса сепарирования в центробежных тарельчатых разделителях затрудняют решение поставленных задач.

Существующая теория процесса сепарирования построена на закономерностях осаждения дискретной частицы в потоке обрабатываемой многофазной жидкости, оперирует гипотетическим размером последней, а также эффективной плотностью дисперсной фазы и вязкостью дисперсионной среды (<sup>1-3</sup>). Однако действительная картина седиментации частиц дисперсной фазы в межтарелочном пространстве отличается от исходной схемы индивидуального осаждения. Кроме того в теории не учитывается влияние ряда других факторов, вызывающих отклонение расчетных значений производительности сепаратора от экспериментальных. Поэтому рекомендуют вводить в расчеты поправочный коэффициент («КПД процесса», «коэффициент эффективности») (<sup>1,3</sup>), который, однако, не может быть постоянной величиной, так как зависит от угловой скорости вращения ротора, производительности и других факторов. Так например, при наилучших качествах разделения поправочный коэффициент имеет наименьшую величину—0,23, а при наихудшем качестве разделения—наибольшую—0,8. В ряде случаев расчет процесса сепарирования по заданному радиусу частиц дисперсной фазы вообще не применим (<sup>4</sup>).

Существенным ограничением общепринятой теории процесса сепарирования является необходимость предварительного проведения центробежного седиментометрического анализа дисперсного состава

разделяемой фазы, что не для каждой жидкой смеси возможно осуществить с достаточной с практической точки зрения точностью. В ряде случаев такой анализ вообще невозможно осуществить ввиду деструкции или коагуляции частиц дисперсной фазы.

Весьма заманчивой является разработка метода расчета, не требующего введения в расчетное уравнение размера отделяемой частицы дисперсной фазы, которую необходимо выбрать из гаммы размеров частиц полидисперсной системы. При этом можно и не учитывать непосредственное влияние на осаждение расчетной частицы других частиц (4,5).

Исследование и анализ процесса сепарирования проведены в зависимости от продолжительности пребывания жидкой смеси в межтарелочных пространствах. Это связано с тем, что режим течения жидкости по межтарелочным пространствам в основном предопределяет эффект центробежного разделения в сепараторе (5).

Для исследования кинетики седиментации дисперсной фазы жидкой смеси в тарельчатых центробежных сепараторах рассмотрим график зависимости между относительным количеством дисперсной фазы жидкой смеси, осевшей за единицу времени  $Q$ , и обратной величиной времени пребывания жидкости в межтарелочном пространстве  $T$ . На рис. 1 представлена зависимость  $Q = f(T)$ , которая передает характер протекания процесса разделения жидких неоднородных

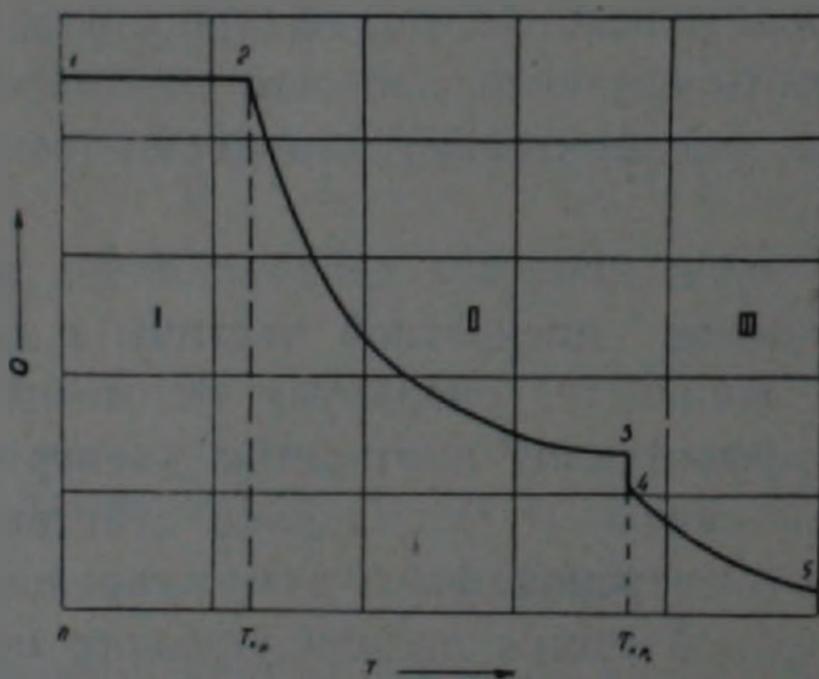


Рис. 1. Зависимость между относительным содержанием дисперсной фазы жидкой массы  $Q$  и обратной величиной времени пребывания жидкости в межтарелочном пространстве  $T$ : I—предел сепарирования; II—собственный процесс сепарирования; III—сепарирование при потере устойчивости

систем в центробежном тарельчатом сепараторе при данном его конструктивном выполнении. Из рисунка следует, что при достижении определенного предела  $T_{кр1}$  процесс сепарирования прекращается вне зависимости от продолжительности центрифугирования. При дальнейшем уменьшении продолжительности процесса качество сепарирования ухудшается и начиная с  $T_{кр2}$  эффект процесса седиментации рез-

ко нарушается и разделение неоднородной смеси становится неэффективным. Экспериментальное исследование показывает, что процесс разделения жидкой смеси в жидкостном тарельчатом сепараторе в промежутке  $T_{кр1} \leq T \leq T_{кр2}$  происходит по гидродинамическим законам осаждения частиц дисперсной фазы в поле центробежных сил инерции.

• Физический смысл требования, чтобы  $T \geq T_{кр1}$ , заключается в существовании предела сепарирования <sup>(1,3)</sup>, связанного с броуновским движением. В этом случае в рабочем органе сепаратора создается состояние седиментационного равновесия, и частицы дисперсной фазы жидкой смеси, которые подлежат разделению в поле центробежных сил, находясь в межтарелочных пространствах жидкостного сепаратора, остаются в ней независимо от продолжительности процесса. Это связано с тем, что мелкие частицы дисперсной фазы под действием сил центробежного поля стремятся пересечь поток жидкой смеси, текущий по межтарелочным пространствам, в то время как в результате диффузии происходит обратный процесс: мелкие частицы дисперсной фазы под влиянием броуновского движения стремятся равномерно распределяться по всему объему межтарелочного пространства. Следовательно, здесь действуют в противоположных направлениях два различных процесса, и преобладание одного из этих движений будет зависеть от напряженности поля центробежных сил.

Для описания предела сепарирования можно привлечь уравнение диффузии <sup>(6)</sup>, которое для одномерного случая имеет вид

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial r^2} - \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial (cv)}{\partial r}, \quad (1)$$

где  $D$ —коэффициент диффузии;  $c$ —содержание дисперсной фазы;  $r$ —расстояние от оси вращения до рассматриваемой точки межтарелочного пространства;  $t$ —время процесса;  $v$ —скорость осаждения частицы на радиусе  $r$ .

Физический смысл требования, чтобы  $T \leq T_{кр2}$ , заключается в необходимости предотвращения потери устойчивости потока жидкой смеси в межтарелочном пространстве жидкостного тарельчатого сепаратора. В противном случае, когда  $T > T_{кр2}$ , произойдет потеря устойчивости межтарелочного потока жидкой смеси, и процесс разделения в сепараторе становится неэффективным <sup>(7)</sup>.

Условие, при котором произойдет потеря устойчивости потока жидкой смеси в межтарелочных пространствах центробежного тарельчатого сепаратора, устанавливается на основании анализа уравнения Навье—Стокса <sup>(3,8,9)</sup>, которое имеет следующий вид:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_u + \vec{F}_k - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \Delta \vec{v}, \quad (2)$$

где  $\vec{v}$ —скорость жидкости;  $t$ —время;  $\vec{F}_u$  и  $\vec{F}_k$ —центробежная и кориолисова силы инерции, отнесенные к единичной массе;  $\rho$ —плотность жидкости;  $p$ —давление;  $\nu$ —кинематическая вязкость жидкости;

$\Delta$  — оператор Лапласа. В уравнении (2) не учитывается сила тяжести жидкости ввиду ее малости по сравнению с  $\vec{F}_n$  и  $\vec{F}_k$ .

Процесс разделения жидкой смеси в промежутке  $T_{кр1} \leq T \leq T_{кр2}$  происходит по гидродинамическим законам осаждения жидкой смеси в поле центробежных сил. Для его описания могут быть привлечены различные выражения, передающие кинетику седиментации частиц дисперсной фазы жидких смесей в поле сил земного тяготения (2-5, 10). Однако они получены применительно к полю сил тяжести и не во всех случаях пригодны для описания процесса седиментации в рабочем органе центробежного тарельчатого сепаратора.

На основании экспериментального исследования процесса сепарирования (5) было предложено уравнение, которое реально характеризует кинетику седиментации частиц дисперсной фазы жидкой смеси в центробежных тарельчатых сепараторах:

$$Q = \frac{aT}{cT + d}, \quad (3)$$

где  $a$ ,  $c$  и  $d$  — постоянные величины.

Из вышеизложенного следует, что при исследовании процесса разделения жидких смесей в центробежных жидкостных тарельчатых сепараторах выделяются три различные характерные режима сепарирования. Для получения требуемых результатов разделения устанавливается соответствующий режим разделения. В этом случае сепаратору задают соответствующую производительность в единицу времени. Зависимость  $Q = f(T)$ , представленная на рис. 1, можно преобразовать в виде графика  $\frac{c_0}{c_0 - c_{\phi}} = f(V)$ , что практически намного облегчает выбор режима сепарирования (5). Здесь  $c_0$  и  $c_{\phi}$  — содержание дисперсной фазы до и после сепарирования, а  $V$  — производительность сепаратора в единицу времени.

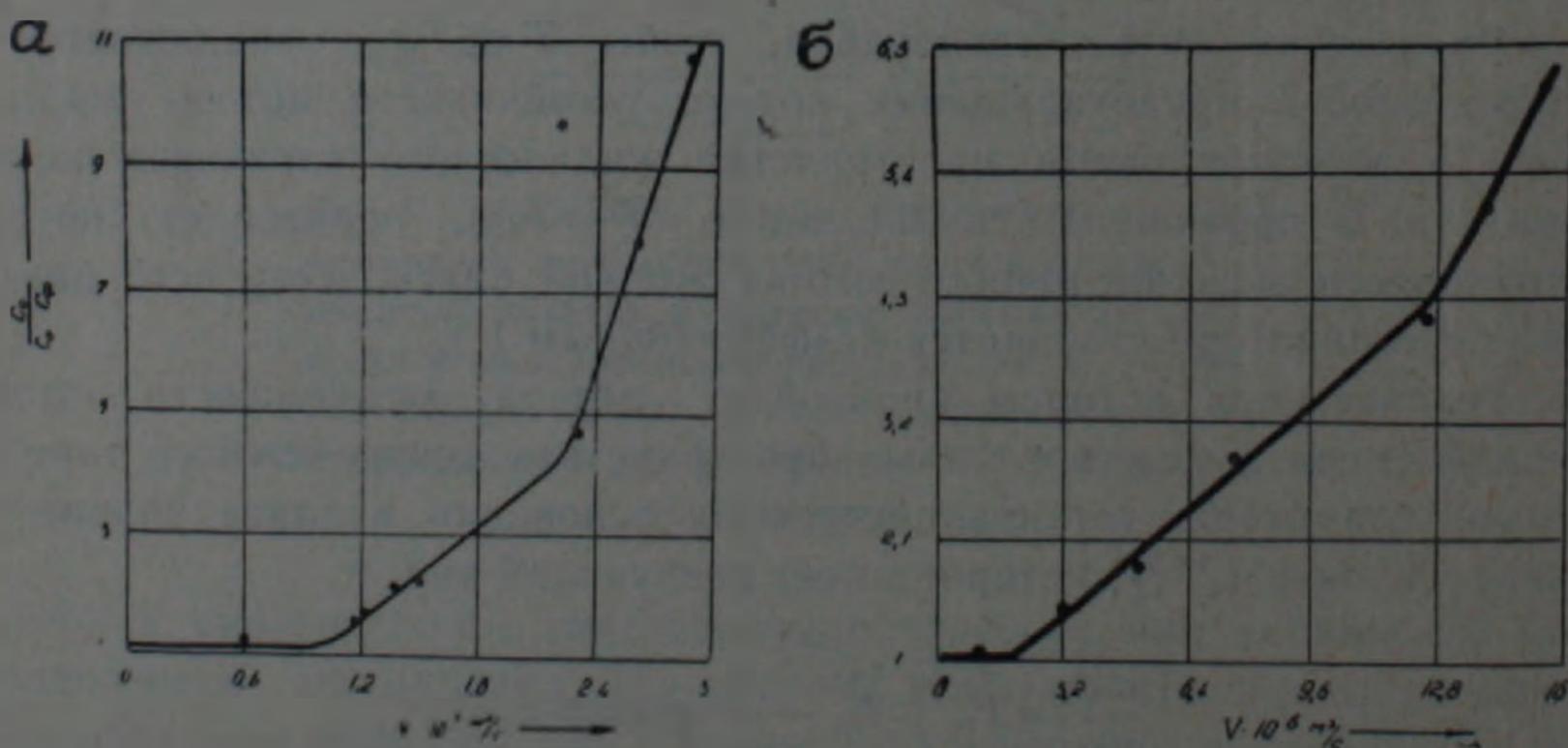


Рис. 2. Зависимость  $\frac{c_0}{c_0 - c_{\phi}} = f(V)$ , полученная при разделении суспензии азопигмента ярко-красного «ЧЖ» на сепараторе ОТ-3М-600 НЖ (а) и сепараторе САОН-205 (б)

Для экспериментальной проверки были проведены опыты по разделению различных жидких смесей на сепараторах различных моделей, а также были обработаны опытные данные различных исследователей. На рис. 2,а приведены результаты сепарирования, полученные нами при разделении суспензии азопигмента ярко-красного «ЧЖ» с  $c_0 = 5,16\%$  (вес.) на промышленном сепараторе ОТ-3М-600 НЖ при угловой скорости вращения ротора 500 рад/с. На рис. 2,б приведены результаты разделения той же суспензии с концентрацией 2,03% (вес.) на малотонажном сепараторе SAOH-205 при угловой скорости вращения 564 рад/с. Во время экспериментов изменяли производительность сепараторов в единицу времени. На рис. 3 приведены результаты разделения суспензии окиси магния с  $c_0 = 10\%$  (об.) на сепараторе ЛТИ с диаметром ротора 0,28 м при угловой скорости вращения 400 рад/с (11).

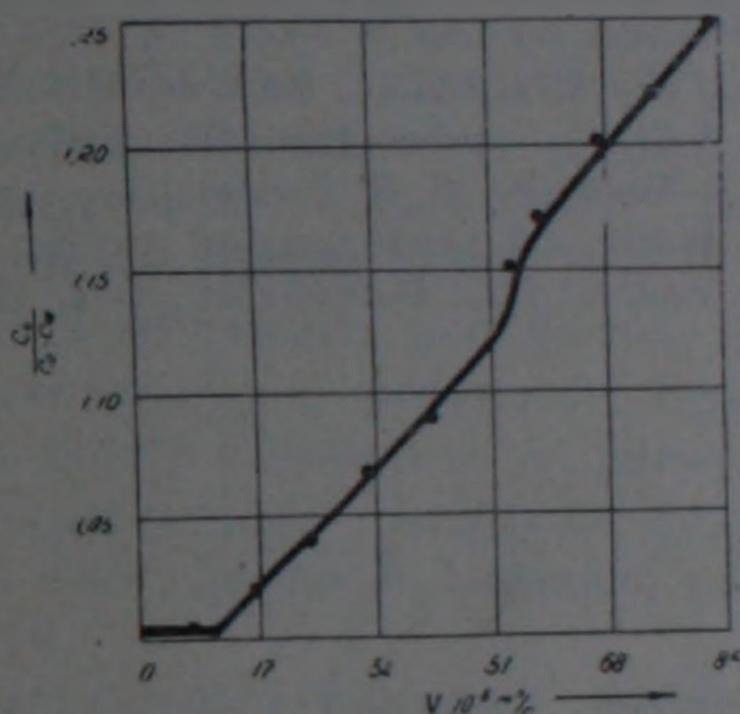


Рис. 3. Зависимость  $\frac{c_0}{c_0 - c_f} = f(V)$ , полученная при разделении суспензии окиси магния на сепараторе ЛТИ с диаметром ротора 0,28 м

Анализ графиков, представленных на рис. 2 и 3, показывает, что при разделении жидких смесей в центробежных жидкостных сепараторах четко выделяются три характерные режима разделения. Представленные экспериментальные данные подтверждают справедливость предложенного метода исследования процесса сепарирования.

Ленинканский государственный педагогический институт им. М. Налбандяна

## Ջ. Ս. ՔՈՐՈՍՅԱՆ

Կենտրոնախույս բաժանիչներում անհամասեռ եղուկ սիստեմների բաժանման ռեժիմների հետազոտումը

Հետազոտված է բաժանման պրոցեսը, կախված ցենտրիֆուգացման տվող ուժից: Բացատրված է, որ ափսեավոր կենտրոնախույս զտիչներով

հեղուկ սիստեմների բաժանման ժամանակ, գոյություն ունեն զտման 3 բր-  
նորոշ ռեժիմներ :

Վերլուծված են բաժանման բացահայտված ռեժիմները: Յուրաքանչյուր  
ռեժիմի համար առաջարկվում է բաժանման պրոցեսի ուսումնասիրման մե-  
թոդիկան:

Ստացված արդյունքներն փորձնականորեն հիմնավորված են տարբեր  
նյութերի և տարբեր զտիչների վրա բաժանման ռեժիմի պարամետրերի լայն  
փոփոխման դեպքում, ինչպես հեղինակի, այնպես էլ այլ հետազոտողների  
փորձի արդյունքներով:

#### ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> Г. И. Бремер, Жидкостные сепараторы, Машгиз, М., 1957. <sup>2</sup> Н. Н. Липатов, Сепарирование в молочной промышленности, Пищевая промышленность, М., 1971.  
<sup>3</sup> В. И. Соколов, Центрифугирование. Химия, М., 1976. <sup>4</sup> Д. С. Торосян, канд. дис.,  
М., 1967. <sup>5</sup> Отчет НИИХИММАШа по теме № 6009/4, М., 1970. <sup>6</sup> В. Г. Левич и др. Курс  
теоретической физики, т. 2, М., 1971. <sup>7</sup> Д. С. Торосян, Изв. АН АрмССР, сер. техн.  
наук, т. 35, № 1 (1982). <sup>8</sup> Е. М. Гольдик, Изв. АН СССР, Механика жидкости и  
газов, вып. 2, 1966. <sup>9</sup> В. А. Карпычев, Е. В. Семенов, Теор. основы хим. технологии,  
т. 7, № 4 (1973). <sup>10</sup> Н. Я. Авдеев, Об аналитическом методе расчета седиментомет-  
рического дисперсионного анализа, Изд. Ростовского ун-та, 1964. <sup>11</sup> С. А. Плюшкин,  
докт. дис., Л., 1972.