ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LXXVIII 1984 1

ГИДРОМЕХАНИКА

УДК 66.067.52 : 637.232.152

Дж. С. Торосян

Уравнение седиментации при сепарировании

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 13/XII 1982)

В последние годы область применения центробежных жидкостных сепараторов заметно расширилась. Сепараторы стали все шире использоваться при технологических процессах в пищевой, химической и других отраслях промышленности для разделения жидких неоднородных систем ([1-4]). В связи с этим возникла потребность в уточнении имеющихся методов расчета процесса сепарирования с целью разработки удобного для практического применения метода ([5, 6]). Для этого необходимо располагать уравнением седиментации частиц дисперсной фазы. Однако предложенные уравнения ([7-9]), описывающие седиментацию частиц в вязкой среде в поле земного тяготения, не всегда точно передают скорость осаждения частиц дисперсной фазы в поле центробежных сил инерции.

При отделении различных жидких неоднородных систем в жидкостных тарельчатых сепараторах выявляются три различных по характеру режима разделения ([10]). Результаты сепарирования при этом представляют в виде зависимости $\Phi = f(T)$, где Φ—относительное количество дисперсной фазы жидкой смеси, осевшей за единицу времени, а T—обратная величина времени пребывания жидкости в межтарелочном пространстве сепаратора.

Особый практический интерес представляет исследование процесса сепарирования в промежутке $T_{кр_1} \leqslant T \leqslant T_{кр_2}$.

Смысл требования, чтобы $T \geqslant T_{кр_1}$, заключается в существовании предела сепарирования, а $T \leqslant T_{кр_2}$—необходимости предотвращения потери устойчивости потока жидкой смеси в межтарелочном пространстве сепаратора.

Введем в рассмотрение систему координат $\Phi' O' T'$ с началом в точке O', оси которой параллельны к первоначальной системе $\Phi O T$. Тогда очевидно, что системы координат $\Phi' O' T'$ и $\Phi O T$ связаны выражениями:

$$\left.\begin{aligned} \Phi' &= \Phi - \Phi_0 \\ T' &= T - T_0 \end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

где Φ_0 и T_0—координаты начала осей системы координат $\Phi' O' T'$.

В промежутке $T_{кр_1} \leqslant T \leqslant T_{кр_2}$ в системе координат $\Phi' O' T'$ зависимость $\Phi' = f(T')$ обладает той особенностью, что отрезок ее касательной делится на равные части в точке касания. Тогда в любой точке зависимости $\Phi' = f(T')$ тангенс угла наклона касательной будет определяться уравнением

$$-\frac{d\Phi'}{dT'}=\frac{\Phi'}{T'}. \qquad (2)$$

Производная в точке касания представляет из себя тангенс угла наклона к оси $O'T'$, и поэтому производная функции в точке касания равна угловому коэффициенту касательной в рассматриваемой точке. Знак минус в (2) указывает на то, что эффективность процесса сепарирования с уменьшением продолжительности разделения падает. Уравнение (2) определено повсюду в промежутке $T_{кр_1}\leqslant T\leqslant T_{кр_2}$.

Разделяя переменные уравнения (2) и интегрируя, получим

$$\ln|\Phi'|+\ln|T'|=\ln|C'|, \qquad (3)$$

где C'—произвольная постоянная интегрирования, которая представлена в (3) как натуральный логарифм вещественного числа, при этом $C'\neq O$.

Обозначим $t=\frac{1}{T'}$ продолжительность пребывания обрабатываемой жидкости, а $t_0=\frac{1}{C'}$—продолжительность осаждения частицы условной величины в межтарелочном пространстве сепаратора.

Тогда после потенцирования и преобразования (3) запишем в виде

$$\Phi'=\frac{t}{t_0}. \qquad (4)$$

Используя уравнение неразрывности, запишем выражение для определения продолжительности пребывания разделяемой жидкой смеси в рабочей зоне межтарелочных пространств в виде ([11])

$$t=\frac{\pi bn(r_{max}^2-r_{min}^2)}{Q'\sin\alpha}, \qquad (5)$$

где b—расстояние между тарелками по направлению оси вращения; n—количество межтарелочных пространств пакета тарелок; Q'—объемная производительность сепаратора в единицу времени; r_{min} и r_{max}—наименьший и наибольший радиусы тарелки; α—угол наклона образующей тарелки к оси вращения.

Продолжительность осаждения частицы t_0 зависит от величины частиц дисперсной фазы жидкой смеси, вязкости дисперсионной среды, эффективной плотности разделяемых фаз, величины расстояния между тарелками и интенсивности поля центробежных сил инерции. В связи с этим целесообразно выразить t_0 через эквивалентную величину $v_э$, являющуюся скоростью осаждения частицы дисперсной фазы жидкой смеси в межтарелочном пространстве пакета тарелок ротора сепаратора некоторого эквивалентного диаметра $d=d_э$ ([5,6]). Тогда $v_э$ будет непосредственно характеризовать эффективность разделения.

Исходя из того, что за время прохождения жидкой смеси через межтарелочное пространство частица эквивалентного диаметра $d=d_э$ должна под действием центробежной силы инерции пройти расстояние между вставками по нормали к оси вращения ротора, найдем

$$t_0 = \frac{18\mu l}{d^2\Delta\omega^2 r_{cp}}, \qquad (6)$$

где Δ—эффективная плотность разделяемых фаз; μ—динамическая вязкость дисперсионной среды; ω—угловая скорость вращения ротора сепаратора; $r_{cp}=\frac{r_{max}+r_{min}}{2}$—средний радиус тарелки; l—расстояние между тарелками по нормали к оси вращения ротора.

Подставляя значения t и t_0 из (5) и (6) в (4), после преобразований получим

$$Q' = \left[\frac{\pi n\omega^2 lH}{36\sin\alpha}(r_{max}+r_{min})^2\right]\left[\frac{\Delta d^2}{\mu\Phi'}\right], \qquad (7)$$

где H—высота тарелки.

Для получения уравнения производительности в системе координат ΦOT воспользуемся (1). Тогда, имея в виду, что

$$\left.\begin{aligned} Q' &= Q - Q_0 \\ \frac{1}{\Phi'} &= \varphi - \varphi_0 \end{aligned}\right\}, \qquad (8)$$

где $\varphi=\frac{1}{\Phi}$ и $\varphi_0=\frac{1}{\Phi_0}$; Q_0 и φ_0—координаты начала системы с осями, параллельными осям OQ и $O\varphi$ соответственно (φ_0 и Q_0—вертикальная и горизонтальная асимптоты уравнения (4), причем Q_0 имеет размерность расхода, а φ_0—безразмерная величина), и выразив относительное количество дисперсной фазы жидкой смеси, осевшей за единицу времени Φ, через начальное c_0 и конечное c_Φ содержания дисперсной фазы жидкой смеси $\Phi=\frac{c_0-c_\Phi}{c_0}$, найдем:

$$Q = \left(\frac{\pi n\omega^2 H r_{cp}^2\Delta d^2}{9\mu\sin\alpha}\right)\left(\frac{c_0}{c_0-c_\Phi}-\varphi_0\right)+Q_0. \qquad (9)$$

В (9) входят величины, которые с одной стороны характеризуют физико-механические свойства обрабатываемой жидкой смеси, а с другой—конструкцию сепаратора. Кроме того (9) передает зависимость производительности центробежного тарельчатого сепаратора от содержания дисперсной фазы разделяемой жидкой смеси.

Из (9) следует, что между симплексом концентрации $\frac{c_0}{c_0-c_\Phi}$ и производительностью сепаратора Q существует линейная связь. Величины Q_0 и φ_0, входящие в уравнение (9), легко определяются на основании опытных данных.

Зависимость (9) показывает, что при разделении одного и того же продукта при различных конструктивных параметрах сепаратора угол наклона прямых $\varphi=f(Q)$ изменяется. Он изменяется и в том случае, если сепарированию подвергаются различные жидкие смеси при постоянных конструктивных параметрах ротора сепаратора.

В качестве примера на рис. 1—4 показаны зависимости $\frac{c_0}{c_0-c_\Phi}=$

$=f(Q)$, полученные при разделении различных жидких гетерогенных систем в центробежных тарельчатых сепараторах. Из рисунков следует, что (9) удовлетворительно передает характер протекания процесса сепарирования при различных условиях разделения и изменения в широких пределах параметров процесса тонкослойного центрифугирования.

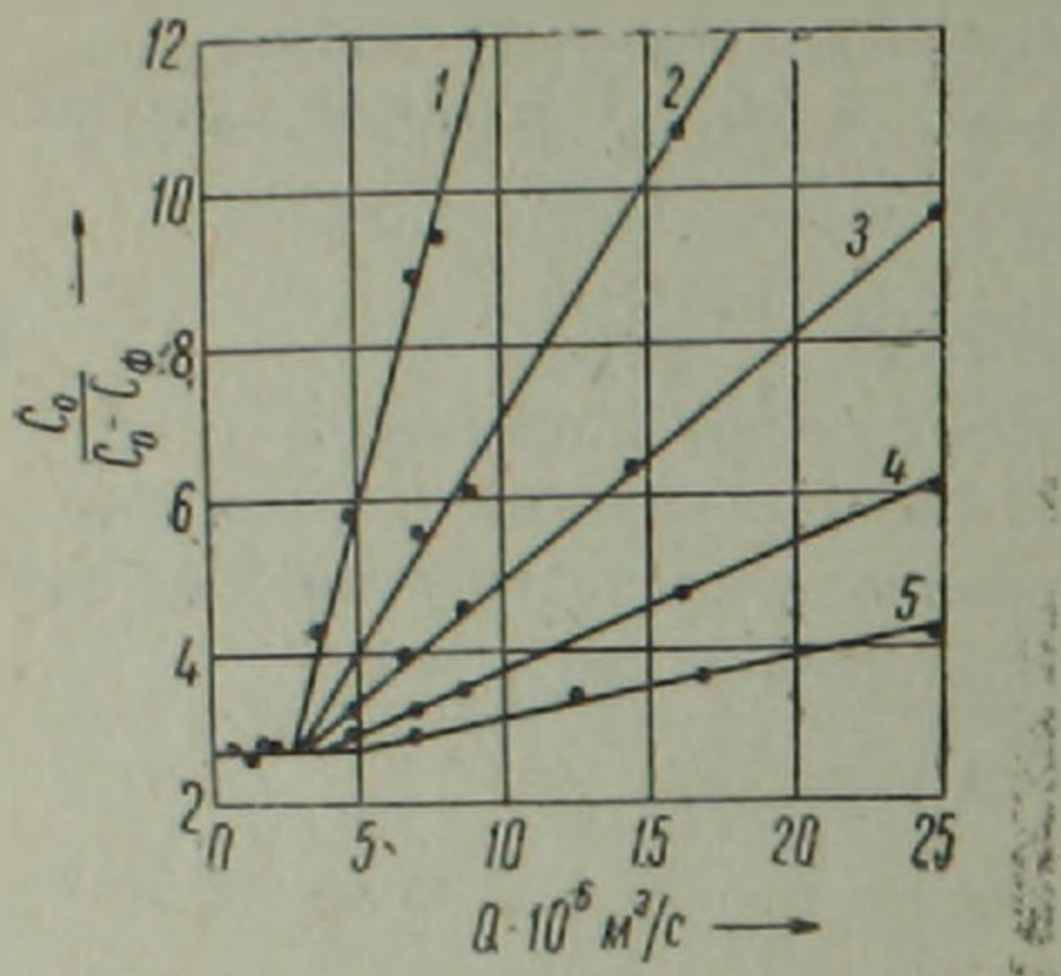

Рис. 1. Зависимость $\frac{c_0}{c_0-c_\Phi}=f(Q)$, полученная на сепараторе модели SAOH-205 при разделении суспензии азопигмента алого „2СВ" с $c_0=5{,}16\%$ при: *1*—$\omega=3$[illegible], *2*—$\omega=419$, *3*—$\omega=560$, *4*—$\omega=698$, *5*—$\omega=838$ рад/с

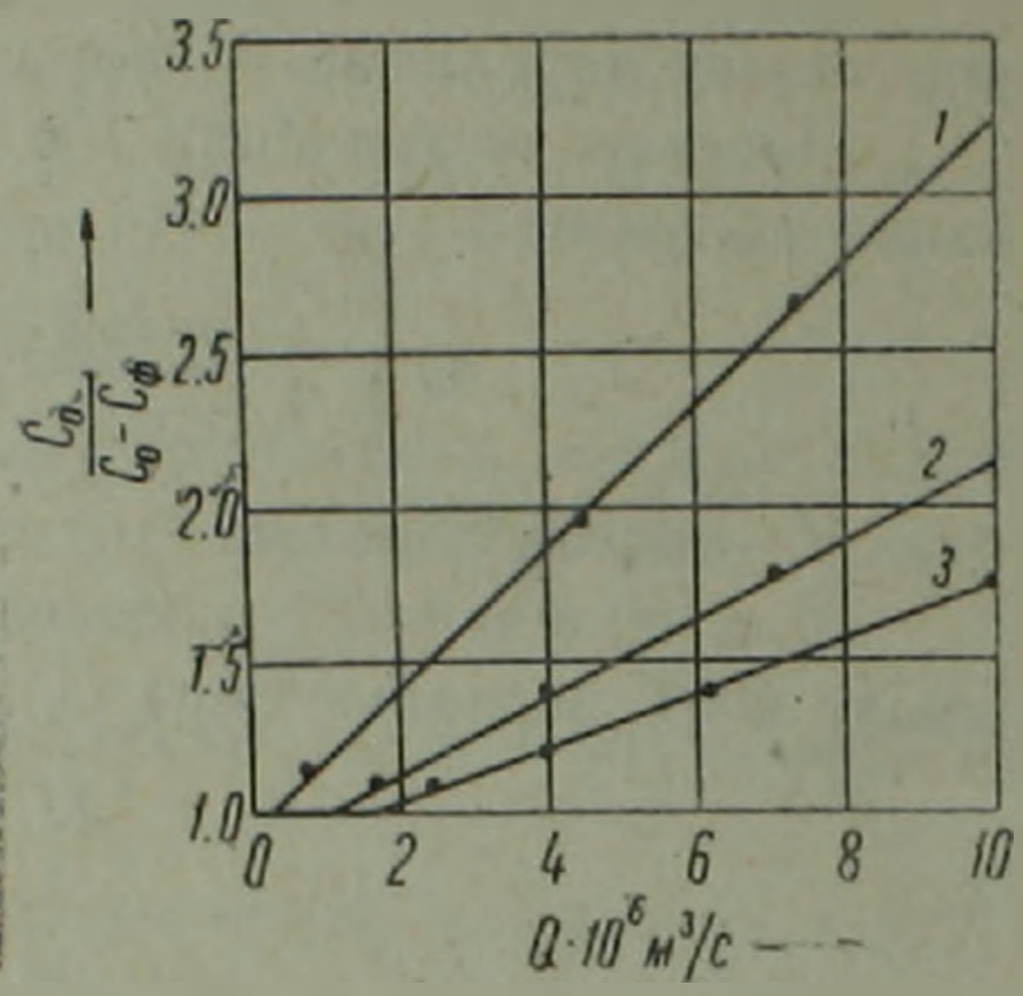

Рис. 2. Зависимость $\frac{c_0}{c_0-c_\Phi}=f(Q)$, полученная на сепараторе модели ОТ-ОР-230 при разделении суспензии азопигмента алого „2СВ" при $\omega=503$ рад/с, когда пакет был снабжен тарелками с наружным радиусом: *1*—$r_{max}=5\cdot10^{-3}$, *2*—$r_{max}=6\cdot10^{-3}$, *3*—$r_{max}=7{,}5\cdot10^{-3}$м

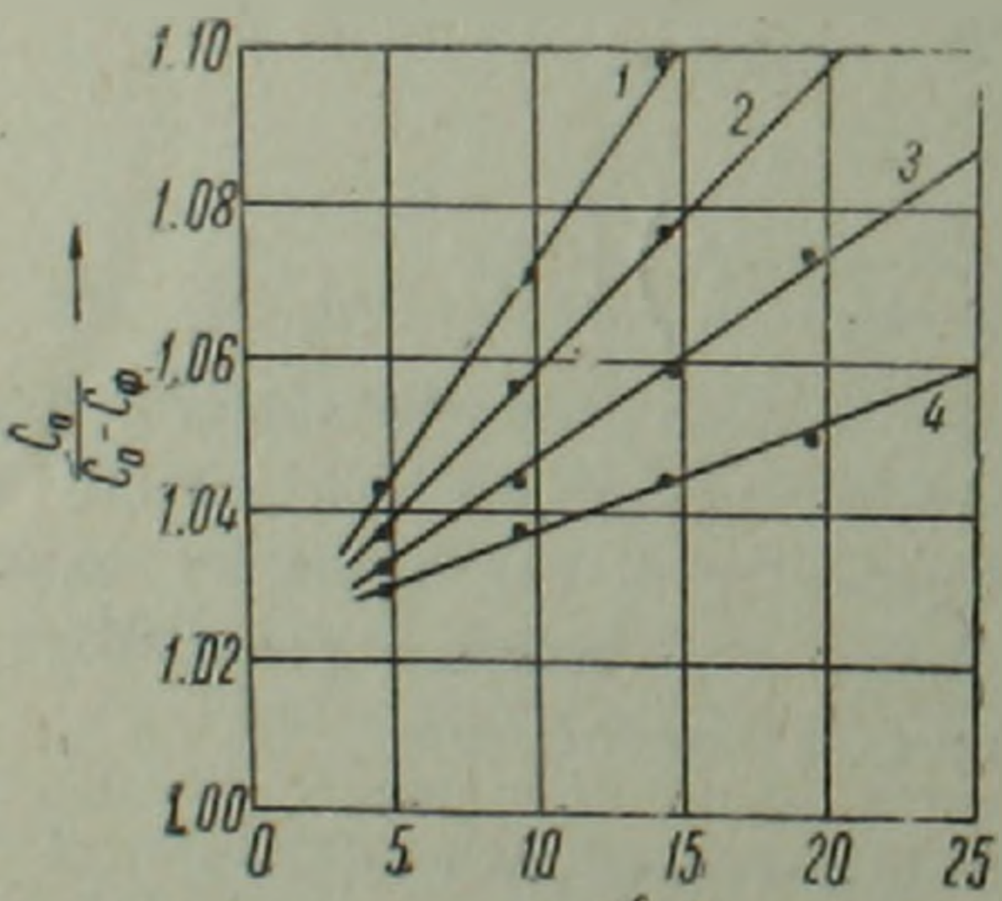

Рис. 3. Зависимость $\frac{c_0}{c_0-c_\Phi}=f(Q)$, полученная на сепараторе модели De-Laval-1225 при сепарировании эмульсии препарата „Севин" при соотношении разделяемых фаз 1:5, температуре процесса 65° и угловой скорости вращения ротора $\omega=420$ рад/с при различных количествах межтарелочных пространств: *1*—$n=5$, *2*—$n=10$, *3*—$n=16$, *4*—$n=33$ шт.

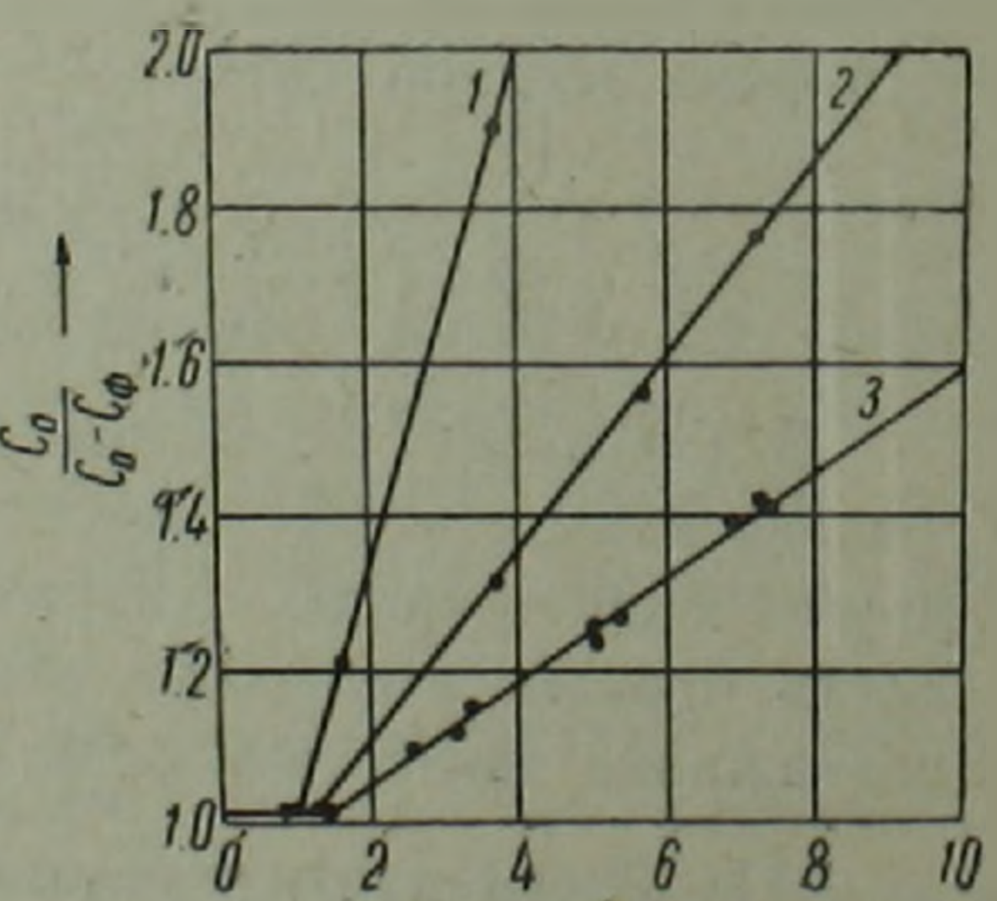

Рис. 4. Зависимость $\frac{c_0}{c_0-c_\Phi}=f(Q)$, полученная на сепараторе модели SAON-205 при угловой скорости вращения $\omega=950$ рад/с при разделении суспензии азопигмента ярко-красного „4Ж" при содержании дисперсной фазы: *1*—$c_0=7{.}33$, *2*—$c_0=5{,}41$, *3*—$c_0=1{,}1\div2{,}3\%$ (вес.)

Зависимость (7) представляет уравнение пучка прямых с началом в точке Q_0 и φ_0.

Обозначим через m и ψ следующие величины:

$$m = \frac{\pi b n (r_{max}^2 - r_{min}^2)}{\sin\alpha}, \qquad \psi = \frac{\pi n \omega^2 H r_{cp}^2 \Delta d^2}{9\mu \sin\alpha}.$$

Тогда (9) можно представить в виде

$$\left(\frac{m}{t} - \frac{m}{\tau}\right) = \psi\left(\frac{1}{\Phi} - \frac{1}{\Phi_0}\right),$$

где $\frac{m}{t} = Q$; $\frac{m}{\tau} = Q_0$; τ—постоянная величина; t—время процесса.

Из последнего равенства найдем

$$\Phi = \frac{\Phi_0 \tau t}{\frac{m}{\psi}\Phi_0\tau + \left(\tau - \frac{m}{\psi}\Phi_0\right)t}.$$

Введем обозначения $a = \Phi_0\tau$, $c = \tau - \frac{m}{\psi}\Phi_0$ и $d = \frac{m}{\psi}\Phi_0\tau$.

Тогда относительное количество дисперсной фазы жидкой смеси, осевшей в единицу времени в межтарелочных пространствах пакета тарелок ротора сепаратора, определится из уравнения

$$\Phi = \frac{at}{d + ct}, \tag{10}$$

где a, d и c постоянные величины.

Из (10) следует, что процесс сепарирования жидких смесей в центробежных тарельчатых сепараторах описывается дробно-линейной функцией. Зависимость (10) представляет из себя уравнение седиментации частиц дисперсной фазы жидкой смеси в поле центробежных сил инерции. Из (10) как частный случай вытекает уравнение Н. Н. Цюрупы ([8]), которое оправдало себя в практике седиментометрического анализа в поле сил земного тяготения и применяется для расчета процесса центрифугирования.

Ленинаканский государственный
педагогический институт
им. М. Налбандяна

Ջ. Ս. ԹՈՐՈՍՅԱՆ

Սեդիմենտացման հավասարումը սեպարացիայի դեպքում

Ուսումնասիրված է կենտրոնախույս ափսեավոր անջատիչների հեղուկ անհամասեռ սիստեմների անջատման պրոցեսը, երբ բաժանումը տեղի է ունենում մածուցիկ միջավայրում դիսպերսիոն ֆազի մասնիկների նստվածքի հիդրոմեխանիկական օրենքներով։ Առաջարկվող հավասարումը, որը նկարագրում է անջատման պրոցեսը, ստուգված է տարբեր անջատիչների վրա տարբեր անհամասեռ սիստեմների բաժանման ժամանակ սարքի բաժանող օր-

գանի տարբեր կոնստրուկտիվ պարամետրի և բաժանվող սիստեմների ֆիզիկա-քիմիական պարամետրերի փոփոխման դեպքերում։ Առաջարկվում է իներցիայի կենտրոնախույս ուժերի դաշտում դիսպերսիոն ֆազի մասնիկների սեդիմենտացիայի հավասարումը։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *В. И. Соколов*, Центрифугирование, Химия, М., 1976. [2] *Г. И. Бремер*, Жидкостные сепараторы, Машгиз, М., 1957. [3] *П. Г. Романков, С. А. Плюшкин*, Жидкостные сепараторы. Машиностроение, Л., 1976. [4] *Н. Н. Липатов*, Сепарирование в молочной промышленности, Пищевая промышленность, М., 1971. [5] *В. И. Соколов, Д. С. Торосян*, Изв. ВУЗов. Пищевая технология, № 1, 1967. [6] *В. И. Соколов, Д. С. Торосян* Химическое и нефтяное машиностроение, № 5, 1968. [7] *J. Myrkes*, Filtration and Separation, March/April, 1967. [8] *Н. Н. Цюрупа*, Коллоидный журнал, т. 26, № 1 (1964). [9] *Н. Я. Авдеев*, Об аналитическом методе расчета седиментометрического дисперсионного анализа, Изд. Ростовского ун-та, 1964. [10] *Д. С. Торосян*, ДАН АрмССР т. 75. №1 (1982). [11] *Д. С. Торосян*, Изв. АН АрмССР. Техн. науки, т. 36, №1 (1983)