

N/1

XIX ЕВРОПЕЙСКИЙ КОНГРЕСС РАБОТНИКОВ НИИ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА РАЗДЕЛЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ И ЕГО
ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ СЕПАРИРОВАНИЯ КРОВИ УБОЙНЫХ
ЖИВОТНЫХ

А.Н.БОГАТЫРЕВ, В.М.ЧЕСНОКОВ, В.П.ТУТЕВИЧ, Н.Н.МИЗЕРЕЦКИЙ

THE XIXth EUROPEAN MEETING OF MEAT RESEARCH INSTITUTES

THE ALL-UNION RESEARCH INSTITUTE OF MEAT INDUSTRY USSR

A CRITERIUM OF THE QUALITY OF MULTIPHASE DISPERSE SYSTEMS SEPARA-
TION AND ITS APPLICATION TO THE PROCESSES OF SLAUGHTER
ANIMALS' BLOOD SEPARATION

A.N.BOGATYRYOV, V.M.TCHESNOKOV, V.P.TUTEVITCH, N.N.MIZERETSKY

DER XIX. EUROPÄISCHE KONGRESS DER FLEISCHFORSCHUNGSSINSTITUTE

ALLUNIONS-FORSCHUNGSSINSTITUT DER FLEISCHWIRTSCHAFT UdSSR

QUALITÄTSKRITERIUM BEI DER AUFTEILUNG VON MEHRPHASEN-DISPERSIONS-
SYSTEMEN UND DESSEN ANWENDUNG BEIM SEPARIEREN DES SCHLACHTTIER-
BLUTES

A.N.BOGATJIREW, W.M.TSCHESNOKOW, W.P.TUTEWITSCH, N.N.MISEREZKIJ

А Н Н О Т А Ц И Я

Целью работы явилось получение аналитических данных, характеризующих критерий оценки качества и эффективности разделения крови.

Учет основных факторов, влияющих на движение взвешенной частицы в потоке обрабатываемой жидкости в сепараторе, позволил получить формулу для расчета минимального радиуса частиц, которые оседают в межтарелочном пространстве очистителя. Качество разделения крови можно определить по суммарной кривой распределения как отношение процентного содержания выделяющихся частиц (γ) к процентному содержанию всех частиц, по формуле:

$$\chi = 0,01 \gamma$$

где χ - критерий качества разделения в долях единицы
 $(0 \leq \chi < 1)$.

Предложенный критерий проверен на большом экспериментальном материале для сепараторов, предназначенных для разделения крови на плазму и форменные элементы, и может быть рекомендован для использования.

S U M M A R Y

The object of the paper was to obtain the analytical data characterizing the criterium of the evaluation of blood quality and separation efficiency.

Consideration of the basic factors influencing the movement of a suspended particle in the flow of the liquid being separated allowed to derive the formula for calculating the minimum radius of the particles which precipitated in between separator plates. The quality of blood separation can be evaluated by the summary distribution curve as the percentage ratio of the isolated particles (γ) to the total particles, given in the formula:

$$\chi = 0.01 \gamma$$

where χ - is the criterium of separation quality (in fractions of a unit) ($0 \leq \chi < 1$).

The suggested criterium was tested on numerous experimental materials in separators designed for blood separation into plasma and formed elements, and can be recommended for practical application.

Z U S A M M E N F A S S U N G

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die analytischen Angaben zu erhalten, die das Kriterium der Qualitätsbewertung und der Effektivität der Blutaufteilung charakterisieren.

Das Studium von Grundfaktoren, die die Bewegung des eingewogenen Teilchens im Strom der behandelnden Flüssigkeit im Separator beeinflussen, ermöglichte es, die Formel zur Berechnung des minimalen Radius von Teilchen zu entwickeln, die im Zwischentellerraum des Reinigers ablagern. Die Qualität der Blutaufteilung kann nach der Summenkurve der Verteilung als das Verhältnis des Prozentgehaltes der ausscheidenden Teilchen (η) zum Prozentsatz aller Teilchen nach folgender Formel bestimmt werden:

$$\chi = 0,01 \eta$$

wo χ - das Qualitätskriterium der Aufteilung in Einheitsteilen ($0 \leq \chi < 1$) bedeutet.

Das vorgeschlagene Kriterium wurde auf einem großen Versuchsmaterial in Separatoren, die zur Blutaufteilung in Plasma und Formelemente bestimmt sind, geprüft und kann zur Anwendung empfohlen werden.

КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА РАЗДЕЛЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ СЕПАРИРОВАНИЯ КРОВИ УБОЙНЫХ ЖИВОТНЫХ

Тарельчатые сепараторы применяют в мясной промышленности для разделения и очистки жировых систем, мясных бульонов, желина и клея, разделения крови на форменные элементы и плазму.

С повышением требований к качеству очистки и разделения многофазных систем актуальной задачей является всестороннее обоснование критерия качества очистки и разделения.

В настоящее время наиболее надежным критерием качества разделения является предельный диаметр частиц, выделяемых в межтарелочном пространстве при условии, что известна суммарная кривая распределения взвешенных частиц по размерам в исходном продукте и осветленной фракции. Как показывают эксперименты, дисперсный состав до и после осветления изменяется незначительно. Это связано с тем, что в осветленной фракции мелкие частицы частично коагулируют (вследствие броуновского движения, наличия электростатических зарядов и т.п.). Поэтому для оценки качества сепарирования достаточно знать предельный диаметр выделяемых частиц и суммарную кривую распределения частиц по размерам в исходном продукте.

Формулы, предложенные для определения предельного диаметра частиц, выведены на основании упрощенной схемы движения взвешенных частиц в межтарелочном пространстве. Нашей задачей являлось строгое изучение движения взвешенной частицы в межтарелочном пространстве сепаратора и установление на этой основе минимального радиуса частицы, выделяемой в межтарелочном пространстве.

Решение этой задачи основано на анализе дифференциальных уравнений относительного движения взвешенной частицы сферической формы, записанных в специальной системе координат: (ζ , φ , χ), изображенной на рис. I. Эти уравнения имеют вид:

$$m \frac{dV_z}{dt} = -6\pi\mu a (V_z - \frac{f_1}{\zeta \sin\delta}) + A \omega^2 r \sin^2\delta + 2A \omega V_\varphi \sin\delta$$

$$m \frac{dV_y}{dt} = -6\pi \mu a (V_y - \frac{f_2}{r \sin \delta}) - 2A\omega V_r \sin \delta - 2A\omega V_z \cos \delta$$

$$m \frac{dV_z}{dt} = -6\pi \mu a (V_z - U_z) + A\omega^2 r \sin \delta \cos \delta + 2A\omega V_y \cos \delta$$

(I)

где m — масса частицы;

a — ее радиус;

μ — динамический коэффициент вязкости жидкости;

ω — угловая скорость вращения тарелок;

V_r, V_y, V_z — соответственно, проекции вектора относительной скорости частицы на оси r, y, z ;

$\frac{f_1}{r \sin \delta}, \frac{f_2}{r \sin \delta}, U_z$ — соответственно, проекции вектора относительной скорости жидкости на оси r, y, z , при чем f_1 и f_2 — функции только координаты z , вид которых приведен в работах /1/, /2/, а $U_z = 0$.

Осредненные по толщине зазора между тарелками значения функций f_1 и f_2 имеют вид:

$$f_1^{cp} = -\frac{Q}{2\pi h}; \quad f_2^{cp} = \frac{Q(\lambda - 1)}{2\pi h}; \quad (2)$$

где Q — расход жидкости через каждое межтарелочное пространство;

h — расстояние между тарелками;

λ — безразмерный параметр; ($\lambda = h \sqrt{\frac{\omega \sin \delta}{y}}$),

где y — кинематический коэффициент вязкости жидкости).

Знак минус в первой из формул (2) показывает, что средняя радиальная скорость потока жидкости направлена к вершине конической тарелки; вторая из формул, (2) для величины параметра $\lambda > 3$, что имеет место в реальных сепараторах для разделения крови убойных животных.

Постоянная A имеет вид:

$$A = \frac{4}{3} \pi a^3 (\rho_r - \rho_{mc}), \quad (3)$$

где ρ_r - плотность частицы;
 ρ_m - плотность жидкости.

Анализ уравнений (I) показывает, что для частиц размером ($a \sim 10^{-4}$ см) можно с большой точностью пренебречь членами, стоящими в их левых частях. Решая полученную систему уравнений относительно скоростей частицы V_r , V_θ и V_z и, пренебрегая в полученных формулах слагаемыми значительно более высокого порядка малости, получим:

$$V_r = \frac{6\pi ma f_1 + 2A\omega f_2 \sin\gamma + A\omega^2 r^2 \sin^3\gamma}{6\pi ma r \sin\gamma}; \quad (4)$$

$$V_\theta = \frac{3\pi ma f_2 - A\omega f_1 \sin\gamma}{3\pi ma r \sin\gamma}; \quad (5)$$

$$V_z = A\omega \frac{6\pi ma f_2 - 2A\omega f_1 \sin\gamma + 3\pi ma \omega r^2 \sin^2\gamma}{18\pi^2 \mu^2 a^2 r \sin\gamma} \cos\gamma. \quad (6)$$

Радиальную относительную скорость частицы V_r можно называть скоростью выноса частиц из межтарелочного пространства, а перпендикулярную к верхней тарелке скорость V_z - скоростью осаждения.

Взяв для функций f_1 и f_2 их средние значения из (2), составив дифференциальное уравнение траекторий частицы в плоскости, проходящей через образующие тарелок, и интегрируя его по координате Z в пределах от 0 до h и по координате Z в пределах от $\frac{R_{max}}{\sin\gamma}$ до $\frac{R_{min}}{\sin\gamma}$, определим минимальный радиус частицы, которая осаждет на поверхность верхней тарелки.

$$a_{min} = 1,5 \sqrt{\frac{Qmh}{\omega(R_{max}-R_{min})[\pi h \omega R_{max} R_{min} + Q(1-1)](\rho_r - \rho_m) \operatorname{ctg}\gamma}} \quad (7)$$

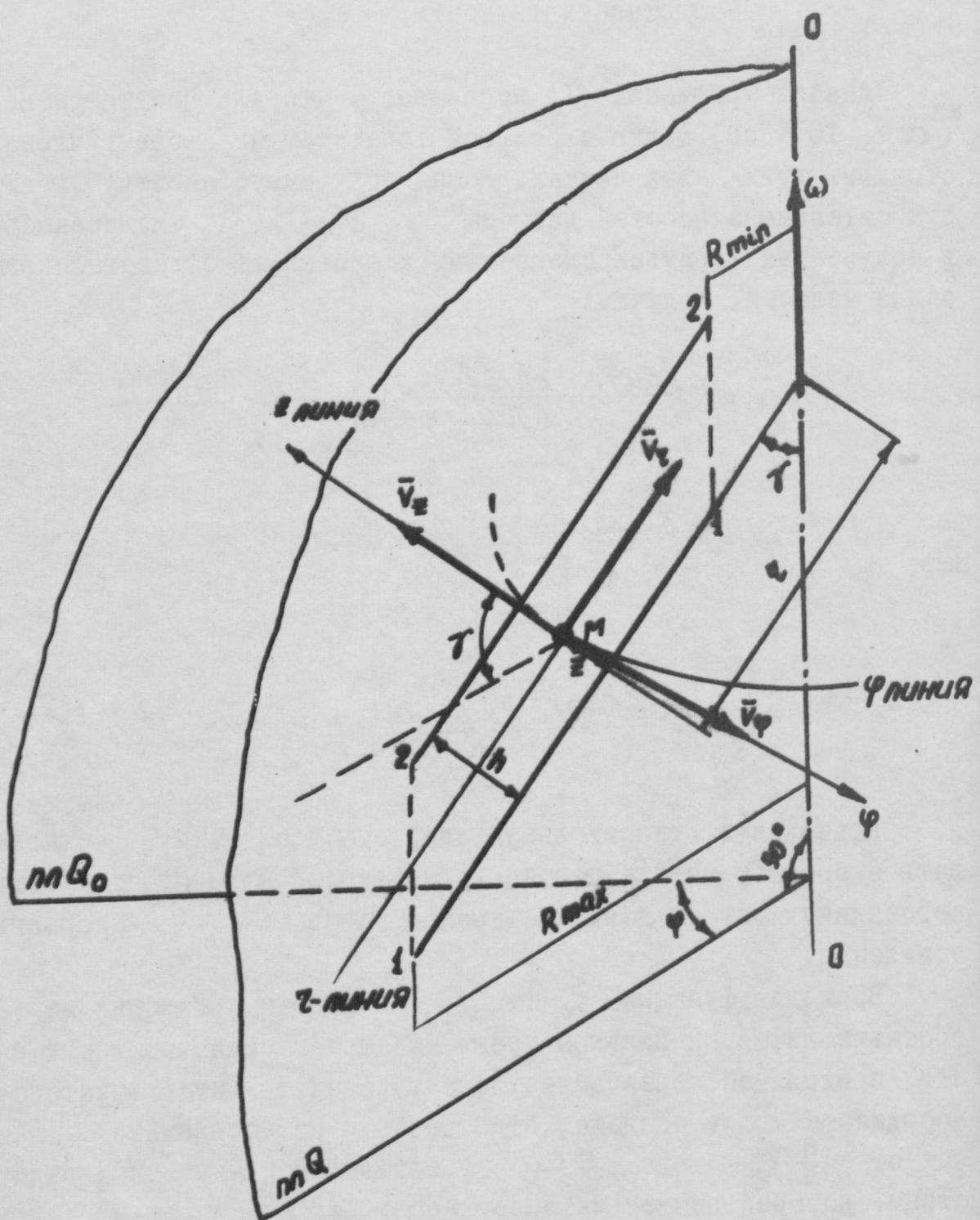


Рис. I. Система конических координат

Все частицы, радиус которых больше a_{min} , осядут в межтарешочном пространстве или будут отброшены в грязевое пространство барабана сепаратора, а частицы, у которых радиус меньше

a_{min} , будут частично вынесены вместе с потоком очищаемой жидкости и перейдут в осветленную фракцию.

Условие фиксации частицы на поверхности верхней тарелки при $\gamma = \frac{R_{min}}{\sqrt{h} \sin \gamma}$ отпадает, поскольку для частиц малых размеров функции f_1 и f_2 , обращающиеся в нуль при $z=h$ будут очень маленькими величинами (при $z=h-a$). Как следует из формулы (4), размеры частиц, для которых при $z=h-a$ и при $\gamma = \frac{R_{min}}{\sqrt{h} \sin \gamma}$. $V_r < 0$, будут значительно меньше рассчитываемых по формуле (7), т.е. эти частицы не достигнут поверхности верхней тарелки.

Покажем применение выведенных формул. Пусть нам известно распределение частиц по размеру в исходном продукте, например форменных элементов крови убойных животных по максимальному размеру эритроцита.

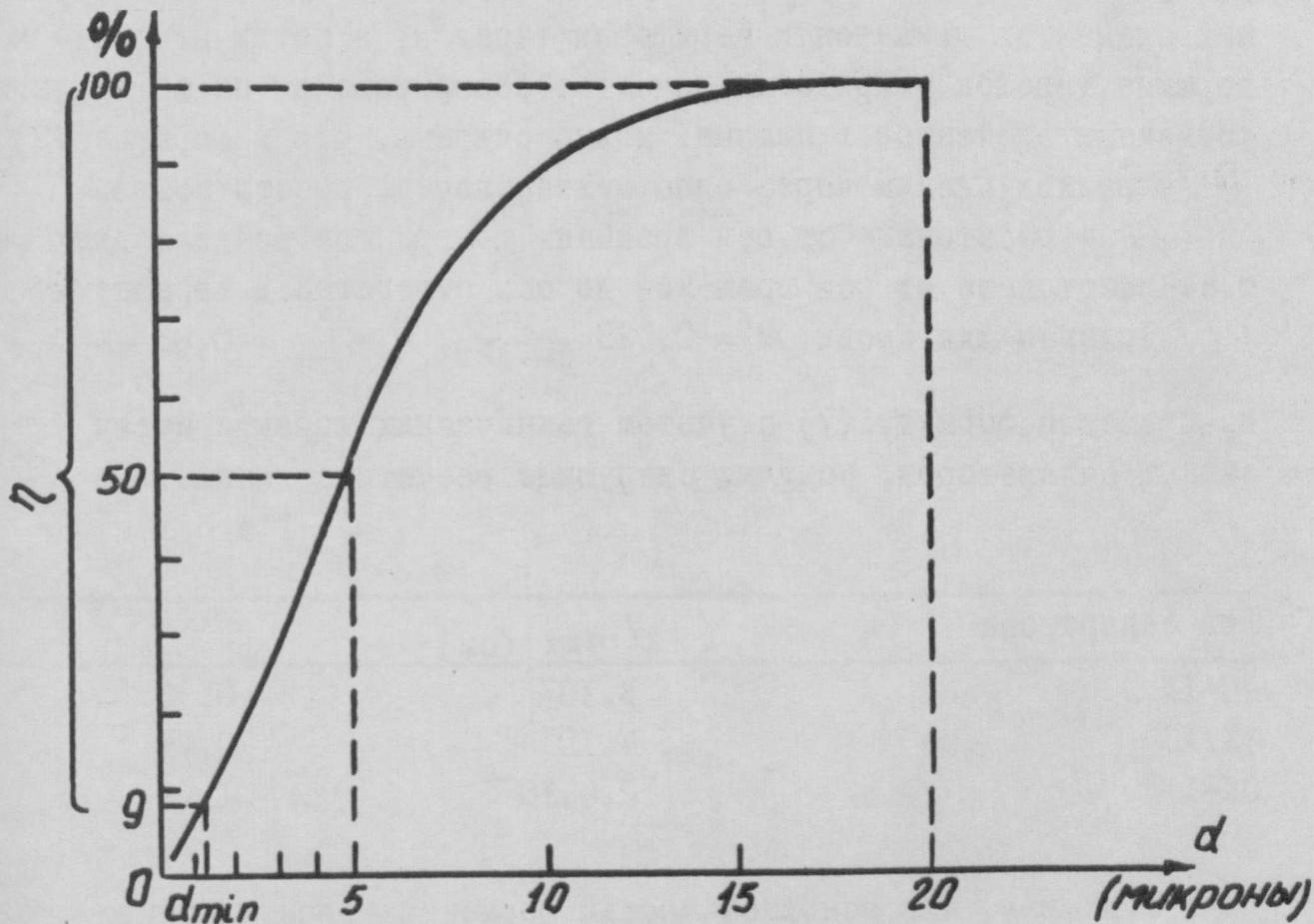


Рис. 2. Кривая распределения частиц сухих веществ крови убойных животных (по размерам белковых частиц)

Рассчитав по формуле (7) минимальный размер выделяемых частиц a_{min} (d_{min}), найдем сколько процентов от всей массы частиц, содержащихся в исходном продукте, составляют частицы, выделенные в сепараторе. Пусть эта величина составляет γ %. Приняв все частицы, содержащиеся в жидкости за 100%, получим простую формулу для определения качества разделения дисперсной системы (например, крови) в виде:

$$\chi = \frac{\gamma}{100} = 0,01\gamma \quad (8)$$

В этой формуле χ - отвлеченная величина, которая в большинстве случаев меньше единицы по той причине, что существуют частицы, предельные размеры которых не позволяют их выделить из данной жидкости.

На мясокомбинатах СССР для разделения крови используют сепараторы типа АС-ИК, ФК/ИС, СК-І. В этих сепараторах поток форменных элементов движется к периферии тарелок, а поток плазмы - к вершине тарелок. Определяя качество сепарирования по содержанию форменных элементов в плазме, можно считать, что в формуле (7) Q - расход плазмы через одно межтарелочное пространство, R_{max} - расстояние от оси вращения до границы раздела двух фаз, т.е. расстояние от оси вращения до оси отверстий в тарелках.

Полагая для крови $\mu = 0,025 \frac{\text{г}}{\text{см}\cdot\text{сек}}$, $\rho_r - \rho_w = 0,03 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

и, применяя формулу (7) с учетом технических характеристик указанных сепараторов, получим следующие расчетные данные:

Таблица

Тип сепаратора	d_{min} (см)	χ
АС-ИК	$3 \cdot 10^{-4}$	0,90
ФК/ИС	$4 \cdot 10^{-4}$	0,75
СК-І	$2,4 \cdot 10^{-4}$	1

Учитывая, что основной частью форменных элементов являются эритроциты крови, средний эквивалентный диаметр которых равен $d_{eq} \approx 4 \cdot 10^{-4}$ см, можно говорить о почти полном выделении из плазмы эритроцитов при обработке крови на сепараторе СК-І. При обработке крови на сепараторах АС-ИК и ФК/ИС часть эритроцитов

переходит в плазму, что приводит к незначительному окрашиванию ее в розовый цвет.

Используя данные /3/ о процентном соотношении между выходом плазмы и форменных элементов при сепарировании крови на сепараторе СК-І при различной производительности, можно объяснить причину незначительного окрашивания плазмы при выходе ее из сепаратора при работе с производительностью больше 456 л/час. Расчет по формуле (7) при этих условиях сепарирования показывает, что предельный размер выделяемых частиц не превышает размера $d_{min} \approx 3,7 \cdot 10^{-4}$ см. Расчет величины χ дает $\chi = 0,81$, т.е. неполное разделение крови.

Рассмотрим качество разделения коагулированной крови на сепараторе ФСК. Физические константы разделяемой системы равны $M = 0,01 \frac{\Gamma}{\text{см} \cdot \text{сек.}}$, $\rho_r - \rho_u = 0,05 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$. При производительности сепаратора по коагулированной крови 200 л/час (при разбавлении водой в соотношении 1:6 расход смеси составит 1400 л/час) минимальный диаметр выделяемых частиц при расчете по формуле (7) составит $1,2 \cdot 10^{-4}$ см. Таким образом, при сепарировании данной системы на сепараторе ФСК все сконденсированные форменные элементы должны выделиться полностью, т.е. качество разделения по форменным элементам $\chi = 1$.

Однако в этих условиях часть сухих веществ переходит в отработанную воду. При распределении частиц сухих веществ по размерам, в соответствии с рис. 2, построенным на основании экспериментальных данных, получим $\chi \approx 0,91$.

Таким образом около 9% сухих веществ должно перейти в отработанную воду. Исходя из результатов испытаний на сепараторе ФСК, сухой остаток составляет 26,7 кг из исходных 116 кг коагулированной крови и при влажности 77%. При этом в отработанную воду должно перейти примерно 2,5 кг сухого остатка. Учитывая, что в результате опытов масса отсепарированного коагулянта оказалась равной 57,6 кг при влажности 58,5%, то сухого остатка в коагуляте было около 24,2 килограммов. Таким образом, действительно, около 2,5 кг сухого остатка переходит в осветленную фракцию.

Как видно из приведенных примеров, результаты расчетов по формуле (7) хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными, что показывает правильность рабочих гипотез, использованных при выводе формулы (7). Формула (7) рекомендуется в каче-

стве критерия оценки эффективности сепарирования жидкых многофазных систем (типа крови убойных животных), с одновременным использованием суммарных кривых распределения взвешенных частиц по размерам, построенных с учетом возможно более полных данных о дисперсном составе разделяемых фракций.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г о л ь д и н Е.М. Основы динамической теории центрифугальных процессов. Автореферат докторской диссертации. М., 1961, 6-8.
2. Ч е с н о к о в В.М., Т у т е в и ч В.П., К а р п ы - ч е в В.А., М и з е р е ц к и й Н.Н. Об устойчивости течения жидкости в поле центробежных и кориолисовых сил инерции. "Пищевая технология", 2, 1972.
3. П о ж а р и с к а я Л.С., Л и б е р м а н С.Г., Г о р б а - т о в В.М. Кровь убойных животных и ее переработка. Пищевая промышленность, М., 1971, 78, 104, 105.