

Значения коэффициентов  
 $q_1, q_2, q_3$

Таблица 2

| $q_i$ | Грудь   | Таз     | Кисти рук |
|-------|---------|---------|-----------|
| $q_1$ | 0,8—1,2 | 1,2—1,5 | 1,2—1,5   |
| $q_2$ | 0,8     | 5,1     | 7,8       |
| $q_3$ | 0,9     | 5,0     | 7,8       |

и реальными ( $D_{\gamma,р}$ ) измерениями;  $q_2$  — коэффициент, характеризующий отношение доз  $\beta$ -облучения, полученных фантомными ( $D_{\beta,ф}$ ) и реальными ( $D_{\beta,р}$ ) измерениями;  $q_3$  — коэффициент, характеризующий отношение доз смешанного  $\beta$  —  $\gamma$ -облучения.

Используя результаты фантомных измерений и значений коэффициентов, приведенных в табл. 2, можно

определить аварийные дозы облучения и дозы, полученные персоналом ранее, с ошибкой  $\pm 30\%$ .

Значительные превышения  $q_2$  и  $q_3$  над  $q_1$  для некоторых частей тела можно объяснить тем, что при проведении манипуляций с бета-источниками положение оператора относительно активной части облучателя постоянно меняется, а при моделировании лучевых нагрузок положение фантома строго фиксировано. При изменении положения активной части источника относительно детектора, как показали измерения, резко меняется спектральный состав  $\beta$ -излучения и интенсивность (для фиксированной точки)  $\beta$ -части.

Таким образом, в данной работе приведены полученные на основании экспериментальных исследований коэффициенты, позволяющие с помощью фантомных измерений определить дозы облучения персонала в различные периоды эксплуатации мощной радиационной техники.

Поступило в Редакцию 14/VII 1971 г.

## Извлечение $Y^{91}$ и $Ce^{144}$ из водных растворов методом пенной флотации

Н. Н. ПУСТОВАЛОВ, В. В. ПУШКАРЕВ

УДК 621.039.7

Известно, что малоактивные жидкие отходы часто содержат поверхностноактивные вещества (ПАВ), которые отрицательно влияют на очистку этих вод различными методами [1, 2]. Кроме того, допустимая концентрация ПАВ в водоемах строго регламентирована санитарными нормами и составляет несколько миллиграммов на 1 л [3]. Одним из методов очистки подобных стоков, в результате которой достигается удаление как активности, так и ПАВ, является метод пенной флотации [4].

В данной работе изучено извлечение радиоактивных изотопов  $Y^{91}$  и  $Ce^{144}$ , а также некоторых ПАВ методом пенной флотации. Исследуемые ПАВ представляли собой индивидуальные алкилсульфаты натрия с длиной углеводородного радикала от 10 до 16 атомов углерода. Подобные индивидуальные соединения входят в состав моющего средства типа порошка «Новость».

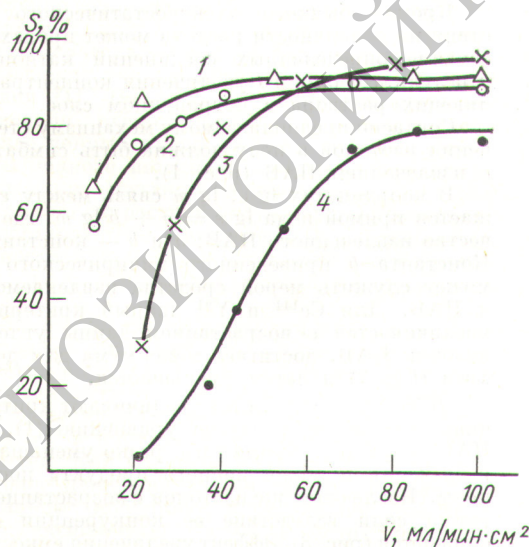


Рис. 1. Влияние скорости подачи диспергированного воздуха на извлечение компонентов раствора в пену (рН = 4,0):

1 — извлечение тетрадецилсульфата; 2 — извлечение  $Ce^{144}$  с тетрадецилсульфатом; 3 — извлечение  $Ce^{144}$  с додецилсульфатом; 4 — извлечение додецилсульфата.

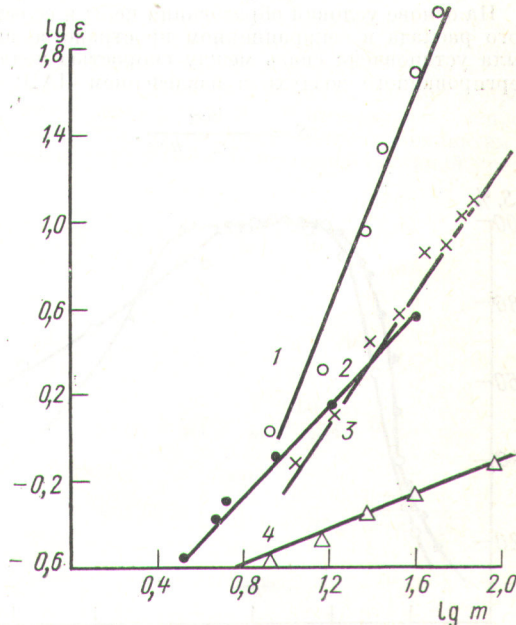


Рис. 2. Зависимость коэффициента распределения  $Y^{91}$  между пенным продуктом и раствором от количества извлеченного ПАВ (рН = 2,0;  $NaNO_3 = 3 \text{ г/л}$ ):

1 — додецилсульфат; 2 — децилсульфат; 3 — тетрадецилсульфат; 4 — гексадецилсульфат.



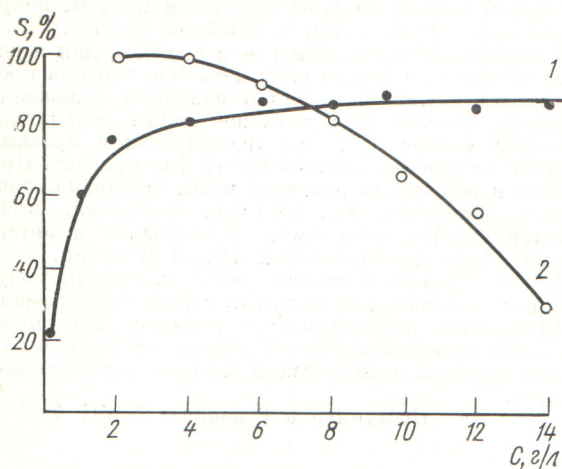


Рис. 3. Влияние концентрации азотнокислого натрия на извлечение додецилсульфата (1) и  $Y^{91}$  (2) с додецилсульфатом натрия ( $pH = 2,0$ ; ПАВ =  $50 \text{ мг/л}$ ).

Методика проведения экспериментов и аппаратура были аналогичны принятым ранее [5]. Исходная активность растворов составляла  $\sim 5 \cdot 10^{-6} \text{ кюри/л}$ . Для описания процесса извлечения ПАВ и изотопов использовались следующие параметры:  $S$  — степень извлечения компонентов раствора в пенный продукт,  $\epsilon$  — коэффициент распределения компонентов раствора между пенным продуктом и раствором, определяемый по соотношению  $\epsilon = \frac{S}{1-S}$ .

На основе условий образования пены и ее естественного распада в сепарационном пространстве аппарата была установлена связь между скоростью подачи диспергированного воздуха и извлечением ПАВ:

$$S = \frac{k v \alpha}{1 - \alpha + k v \alpha} \quad (1)$$

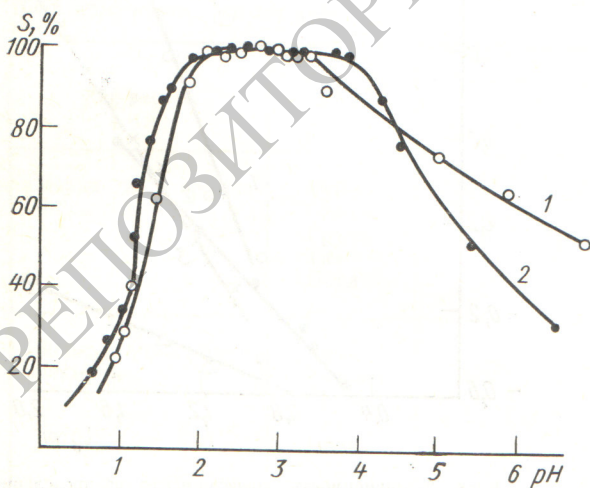


Рис. 4. Зависимость извлечения  $Y^{91}$  (1) и  $Ce^{144}$  (2) от  $pH$  раствора с додецилсульфатом натрия ( $NaNO_3 = 4,5 \text{ г/л}$ ; ПАВ =  $50 \text{ мг/л}$ ).

где  $k$  — константа;  $v$  — скорость подачи диспергированного воздуха;  $\alpha$  — критерий устойчивости пены, определенный как отношение объема пенного продукта, образующегося через некоторый промежуток времени, к объему пены в момент ее образования. Обычно промежуток времени для расчетов  $\alpha$  выбирался в соответствии со средним временем пребывания пены в сепарационном пространстве.

Как видно из уравнения (1), при  $\alpha \rightarrow 1$  извлечение ПАВ не зависит от скорости подачи диспергированного воздуха, а с уменьшением  $\alpha$  необходимо увеличивать расход воздуха для достижения максимальной степени извлечения. При малых значениях критерия устойчивости необходим большой расход воздуха, что в конечном итоге может привести к перекачке всего раствора в пену. Поэтому целесообразно резко повышать скорость подачи воздуха в конце процесса извлечения, когда критерий устойчивости уменьшается, а пена содержит мало раствора.

Алкилсульфаты натрия в водном растворе находятся в диссоциированном состоянии, что и объясняет их высокую растворимость в воде [6]. Экспериментально было установлено, что они не образуют каких-либо соединений в водных растворах с катионами микрокомпонентов, вследствие чего наиболее вероятен следующий механизм извлечения изотопов с алкилсульфатами натрия. Органические ионы ПАВ, обладающие отрицательным зарядом, адсорбируются на границе раздела фаз, и поверхность раздела по этой причине приобретает определенный заряд. Для компенсации появившегося заряда возникает диффузионный слой, который при образовании пены входит в состав ее тонких пленок. Распределение катионов раствора между объемом раствора и диффузионной частью адсорбционного слоя происходит согласно закону действующих масс. Суммарная емкость диффузионных слоев пены в этом случае определяется количеством извлеченного ПАВ.

Кроме обычного электростатического взаимодействия на поверхности раздела может происходить образование определенных соединений катионов с ПАВ в результате резкого увеличения концентраций составляющих раствора в пограничном слое.

Согласно предполагаемому механизму степень извлечения изотопов в пену должна быть симбатно связана с извлечением ПАВ (рис. 1).

В координатах  $\lg \epsilon$ ,  $\lg m$  связь между  $\epsilon$  и  $m$  выражается прямой вида  $\lg \epsilon = a + b \lg m$ , где  $m$  — количество извлеченного ПАВ;  $a$  и  $b$  — константы (рис. 2). Константа  $b$  приведенного эмпирического уравнения может служить мерой сродства извлекаемого изотопа к ПАВ. Для  $Ce^{144}$  и  $Y^{91}$  данный критерий сродства увеличивается с возрастанием длины углеводородной цепочки ПАВ, достигает максимума для додецилсульфата ( $b \geq 2$ ) и затем уменьшается.

Добавки электролитов увеличивают критерий устойчивости пены и, согласно уравнению (1), извлечение ПАВ возрастет. Кроме того, резко уменьшаются время извлечения и объем пенного продукта после распада пены. Извлечение же изотопов с возрастанием концентрации соли вследствие ее конкуренции с изотопом снижается (рис. 3). Эффект увеличения емкости двойного слоя за счет возрастания извлечения ПАВ компенсируется при этом более значительным конкурентным влиянием соли.

По своему влиянию на увеличение количества извлекаемого ПАВ и повышение конкурентной способности по отношению к изотопу исследованные катионы



можно расположить в ряд



Природа анионов мало влияет на процесс извлечения ПАВ. Исследованные анионы уменьшают извлечение изотопов вследствие образования комплексов с изотопами согласно ряду



В присутствии соли изменение величины рН мало влияет на извлечение ПАВ в пенный продукт. В этом случае количество воды, уносимой с пеной, составляет менее 1% объема продуваемого раствора в широком диапазоне рН.

Вынос изотопов при различных реакциях среды определяется их состоянием в растворе. На рис. 4 приведены данные по извлечению  $\text{Ce}^{144}$  и  $\text{Y}^{91}$  с додецилсульфатом натрия в присутствии 4,5 г/л  $\text{NaNO}_3$ . Как видно из этого рисунка, характер кривых аналогичен для  $\text{Ce}^{144}$  и  $\text{Y}^{91}$ . Уменьшение извлечения изотопов в кислой среде объясняется конкурентным влиянием  $\text{H}^{+}$ -ионов; снижение извлечения при  $\text{pH} > 5$  происходит вследствие образования радиоколлоидов. В данных условиях степень извлечения изотопов достигает

$99 \pm 0,2\%$ , а при уменьшении концентрации соли  $\sim 100\%$ .

Поступило в Редакцию 9/VII 1971 г.  
В окончательной редакции 2/XII 1971 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Лукиных и др. Влияние синтетических ПАВ на очистку сточных вод. М., Изд. АНХ РСФСР, 1956.
2. Д. И. Трофимов, З. А. Зверькова. Сборник докладов конференции специалистов стран — членов СЭВ по проблеме обезвреживания радиоактивных отходов (ЧССР, г. Брно, 22–27 июня 1964 г.). М., СЭВ, 1965.
3. Е. А. Можаяев и др. «Научные тр. АНХ». Вып. 63, 89 (1970).
4. В. В. Пушкарёв, Ю. В. Егоров, Б. Н. Хрусталева. Осветление и дезактивация сточных вод пенной флотацией. М., Атомиздат, 1969.
5. В. В. Пушкарёв, Л. Д. Скрылев, В. Ф. Багрецов. «Ж. прикл. химии», 33, 59 (1960).
6. К. Шинода и др. Коллоидные поверхностно-активные вещества. М., «Мир», 1966.

## Расчет фазовой фокусировки интенсивных сгустков заряженных частиц в ускорителях прямого действия

М. И. АВРАМЕНКО, В. С. КУЗНЕЦОВ, Н. П. КУЗНЕЦОВА, М. А. НИКОЛЬСКИЙ, Р. П. ФИДЕЛЬСКАЯ УДК 533.922

В связи с развитием работ по спектрометрии быстрых нейтронов все большее значение приобретает вопрос об осуществлении наносекундных импульсных режимов на низковольтных нейтронных генераторах, электростатических генераторах и других ускорителях, относящихся к разряду так называемых ускорителей прямого действия [1]. На рис. 1, а показана наиболее распространенная схема такого рода ускорителей. В этом случае ионный пучок на входе из фокусирующей системы ионного источника прерывается и полученные исходные сгустки длительностью порядка 20–30 нсек за счет скоростной модуляции, осуществляемой в группирователе, значительно сокращаются по длительности при пролете остальной части тракта ускорителя, т. е. происходит фазовая фокусировка сгустка.

При исследовании динамики частиц в таких ускорителях необходимо учитывать как кулоновское взаимодействие частиц в сгустке, так и разброс частиц по скорости. Такая задача в полном объеме чрезвычайно сложна для решения, так как движение частиц должно рассматриваться в шестимерном пространстве координат и скоростей. Для упрощения задачи предположим, что продольное движение частиц сгустка не зависит от их радиальных координат, а радиальное движение частиц — от аксиальных. Также в целях простоты примем, что распределение плотности частиц в поперечном фазовом пространстве микроканоническое и в данный момент времени одинаково для любого сечения сгустка  $z = \text{const}$ . Эти допущения позволяют свести шестимерную задачу о фазовой фокусировке сгустка к двумерной задаче относительно продольных координат и скоростей частиц.

В работе [2] было найдено стационарное решение упомянутой задачи. Мы рассмотрим нестационарный случай и не будем налагать никаких ограничений на функцию распределения плотности частиц в продольном фазовом пространстве. В этом случае распределение части сгустка по продольным координатам  $z$  и скоростям  $w$  определяется следующей системой уравнений:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + w \frac{\partial f}{\partial z} + \dot{w} \frac{\partial f}{\partial w} = \frac{df}{dt} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{dz}{dt} = w, \quad (2)$$

$$\frac{dw}{dt} = kF[z, R(t), t] + \frac{e}{m} \cdot \frac{dV(z)}{dz}, \quad (3)$$

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = \frac{k\rho_0^* l_0}{Rl(t)} + \frac{\Phi^2}{R^3} + \frac{e}{m} \cdot \frac{d^2 V(z)}{dz^2} R(t), \quad (4)$$

$$F[z, R(t), t] = \frac{1}{R^2(t)} \left[ \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} \frac{\rho^*(\eta)(\eta - z) dz}{\sqrt{R^2(t) + (\eta - z)^2}} + \right. \\ \left. + \int_{z_{\min}}^z \rho^*(\eta) d\eta - \int_z^{z_{\max}} \rho^*(\eta) d\eta \right], \quad (5)$$

$$\rho^*(z, t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(z, w, t) dw, \quad (6)$$