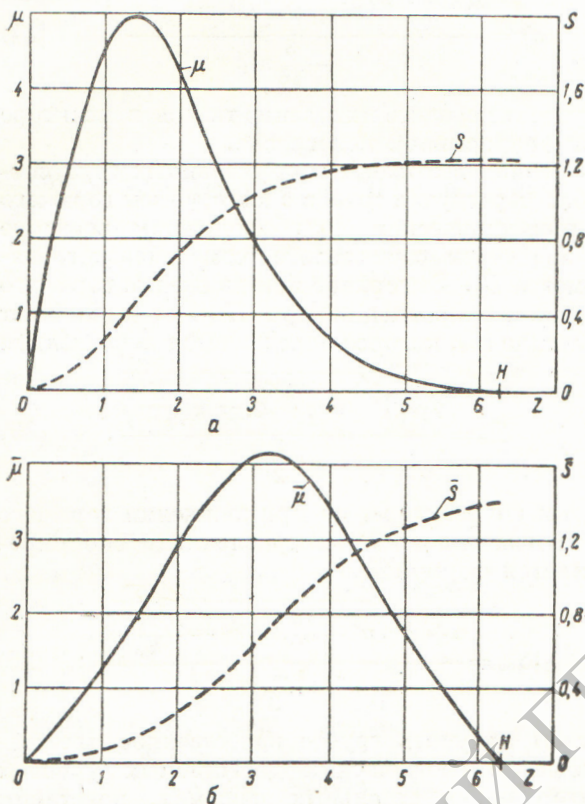


Численные данные и заключения

В таблице приведены результаты расчетов различных вариантов реакторов в режимах с



Аксиальная зависимость потока нейтронов и выгорания горючего от координаты z для движения горючего в одном направлении (а) и в противоположных направлениях (б).

движением горючего в одном и противоположных направлениях для десяти вариантов постоянных $H, R, M^2, k_0, \alpha, \beta$, соответствующих тяжелоатомному реактору на природном уране.

На рисунке показана аксиальная зависимость потока нейтронов и выгорания от координаты z для движения в одном направлении (а) и для движения в противоположных направлениях для четвертого варианта таблицы (б). Аксиальная зависимость потока и выгорания в рассматриваемом промежутке постоянных изменяется не сильно, так что зависимости, приведенные на рисунке, типичны для режимов с движением горючего.

При движении горючего в одном направлении максимум потока сдвигается в направлении к месту входа свежего горючего, а выгорание по сравнению с режимом непрерывной перегрузки твэлов увеличивается примерно на 20%, по-видимому, вследствие большей утечки нейтронов в месте входа горючего.

При движении горючего в противоположных направлениях можно добиться увеличения выгорания на 40% по сравнению с непрерывной перегрузкой. Распределение потока нейтронов симметричное, хотя коэффициент выравнивания меньше, чем при равномерном распределении горючего:

$$\bar{\mu}_z < \mu = \frac{2}{\pi} = 0,64.$$

Поступила в Редакцию 13/XII 1963 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Л. Иоффе, Л. Б. Окунь. «Атомная энергия», 1, 80 (1956).
2. К. Meyer, E. Griepentrog. Kernenergie, 3, 11 (1960).



УДК 621.039.31

Насадки для колонн, применяющиеся при разделении изотопов

Ю. Р. Аюпов, И. Г. Гвердцители, В. А. Каминский, Г. Л. Парцахашвили

В статье сформулированы требования к насадкам, используемым при разделении изотопов в колоннах. Исследованы свойства различных проволочных насадок и определена область их применения.

Процессы дистилляции и химического обмена, осуществляемые в насадочных колоннах, в последнее время получили широкое распространение при производстве стабильных изо-

топов легких элементов, однако требования, предъявляемые к насадкам, используемым в этих процессах, до сих пор четко не сформулированы. В литературе нет также полных данных о свойствах ряда распространенных эффективных насадок, без чего нельзя определить область их применения и наиболее целесообразно выбрать насадку для конкретного разделительного процесса. В настоящей

работе детально исследованы некоторые эффективные насадки. Сформулированы основные требования, предъявляемые к насадкам, которые используются при разделении изотопов, и определена область применения отдельных насадок.

Требования, предъявляемые к насадкам, используемым при разделении изотопов

Интенсивность массообмена в насадочной колонне пропорциональна поверхности фазового контакта между жидкостью и газом, что учитывается высотой единицы переноса (ВЕП) — величиной, характеризующей эффективность колонны. Как известно,

$$\text{ВЕП} = \frac{G}{aK},$$

где G — плотность потока газа, выраженная в молях; a — поверхность фазового контакта, приходящаяся на единицу объема; K — коэффициент массопередачи.

Величина ВЕП и число ступеней S , необходимых для получения продукта заданной концентрации, определяют высоту колонны:

$$Z = \text{ВЕП} \cdot S.$$

Из-за малого различия физико-химических свойств изотопных соединений разделение изотопов является предельно трудной задачей, и для получения обогащенного продукта необходимо иметь установки, насчитывающие сотни и тысячи ступеней. При этом становится принципиальным получение малой высоты единичной ступени разделения путем применения насадок, создающих значительную поверхность фазового контакта. Создание максимально возможной поверхности фазового контакта в единице объема колонны и является первым основным требованием к насадкам, используемым для разделения изотопов.

Величина поверхности фазового контакта зависит от ряда различных факторов. Определяющую роль играет при этом геометрическая удельная поверхность насадки, увеличивающаяся с уменьшением размера элемента. При разделении изотопов в лабораторных и небольших промышленных масштабах применяются насадки с размерами элементов от 4 до 1,5 мм. При таких размерах в значительной мере начинает проявляться действие капиллярных сил, удерживающих жидкость в местах соприкосновения элементов насадки. Для насадок, имеющих внутренние полости, таких, как отрезки плотно навитой проволоки спи-

рали и цилиндрические кольца, при малых размерах элемента жидкость удерживается капиллярными силами внутри самих элементов. Поэтому реальная поверхность фазового контакта может значительно отличаться от формы геометрической поверхности, образуемой элементами засыпанной насадки. Кроме того, на реальную поверхность фазового контакта влияют характер распределения жидкости по сечению колонны и условия смачивания насадки рабочей жидкостью.

Для увеличения смоченной поверхности при использовании большинства известных насадок требуется захлебывание — процесс, заключающийся в затоплении насадочной части колонны жидкостью и постепенном выведении этой жидкости при тщательно поддерживаемом рабочем режиме колонны. Если жидкость плохо удерживается насадкой, то после каждого нарушения технологического режима необходимо вновь искусственно смачивать насадку, в результате чего каждый раз на достижение стационарного состояния теряется значительное время. С некоторым приближением время установления такого состояния можно представить формулой

$$t = \frac{H}{\varepsilon^2} f(X_p),$$

откуда видно, что из-за малости коэффициента обогащения ε потери времени на достижение стационарного состояния особенно велики для процессов разделения изотопов. Проведение захлебывания значительно усложняет технологию ввода в эксплуатацию низкотемпературных колонн. Ряд процессов, использующихся для разделения изотопов (химический обмен и дистилляция термически неустойчивых соединений), в принципе не допускает проведения захлебывания. Среди них есть процессы, представляющие значительный интерес, например химический обмен между NO и HNO_3 и обменная дистилляция комплекса $(\text{CH}_3)_2\text{O} \cdot \text{BF}_3$. Поэтому второе основное требование, предъявляемое к насадкам, используемым для разделения изотопов — их способность эффективно работать без захлебывания или какого-либо иного предварительного смачивания.

Это качество насадки может быть достигнуто путем повышения ее капиллярных свойств, благодаря чему жидкость будет хорошо смачивать насадку и удерживаться на ее поверхности. Увеличение капиллярных свойств приводит, однако, к возрастанию количества жидкости, удерживаемой насадкой, и связанному с этим увеличению времени достижения ста-

ционарного состояния. Необходимо стремиться к тому, чтобы насадка наряду с высокими капиллярными свойствами обладала малой величиной задержки жидкости, особенно в случаях, когда мал элементарный коэффициент разделения или мало количество вещества, подлежащего разделению.

К насадкам, используемым при разделении изотопов, как правило, не предъявляется жестких требований в отношении их гидродинамического сопротивления потоку пара или газа и связанной с этим максимальной пропускной способности насадки. Удовлетворительными считаются насадки, допускающие плотности орошения 5—6 мл/см²·мин, хорошими — допускающие плотности орошения 8—10 мл/см²·мин при атмосферном давлении. Значительный объем установок и необходимость использования насадочных тел малых размеров предъявляют повышенные требования к простоте изготовления элементов насадки и стоимости единицы ее объема.

Для характеристики насадки необходимо знать геометрическую форму элемента и его основные размеры, число элементов в единице объема, долю свободного пространства для прохода пара или газа и плотность засыпки. Эффективность насадки оценивается величиной ВЕП или ВЭТС* (для большинства процессов разделения изотопов эти величины численно совпадают), определенной для всего допускаемого данной насадкой интервала плотности орошения, а также величинами перепада давления ΔP и задержки H .

Поскольку детально изучить свойства эффективных насадок на изотопных смесях трудно из-за больших значений времени установления стационарного состояния и сложности анализа большого числа проб, эффективность насадки принято оценивать на эталонных органических смесях, из которых наиболее широко используются бензол — четыреххлористый углерод, *n*-гептанметилциклогексан и др. При сопоставлении различных насадок надо сравнивать кривые зависимости ВЕП, ΔP и H , полученные для одинаковой смеси на колоннах с одинаковыми диаметром и высотой, от плотности орошения L . Это связано с тем, что при увеличении диаметра колонны высота ступени обычно увеличивается, а перепад давления снижается вследствие неравномерности распределения потока жидкости и газа по сечению колонны.

* ВЭТС — высота, эквивалентная теоретической ступени.

При использовании различных смесей эффективность насадок можно сравнивать при помощи критерия $\Phi = \frac{W\gamma}{\text{ВЕП}}$, где W и γ — скорость и удельный вес пара. Чем больше Φ , тем эффективнее насадка.

Высота ступени, определенная на одной и той же насадке, может значительно меняться при переходе от одних разделяемых веществ к другим, что связано как с изменением их молекулярного веса, так и с изменением физических свойств жидкости и газа, определяющих поверхность фазового контакта и коэффициент массопередачи. Наиболее резко отличаются значения высоты ступени, определенные на одной и той же насадке для процессов дистилляции и химического обмена. Как видно из табл. 1, последний процесс дает большие значения ВЕП.

Насадки, используемые при разделении изотопов

В ряде первоначальных работ по разделению изотопов в качестве насадки использовались одиночные витки и отрезки круглой спирали. Одиночные витки внутренним диаметром 1,2 мм несмотря на плохую пропускную способность применялись при концентрировании изотопа В¹⁰ методом низкотемпературной дистилляции ВF₃ [1]. С помощью этой насадки был получен изотоп N¹⁵ высокой концентрации методом химического обмена между NO и HNO₃ [2]. Отрезки круглой проволоочной спирали (спирали Фенске) использовались при концентрировании N¹⁵ методом химического обмена между аммиаком и раствором нитрата аммония [3, 4]. При дистилляции жидкого NO на этой насадке были получены достаточно низкие значения высоты ступени (1,72 и 1,85 см), хотя авторы и не указывают величины потоков в колонне [5].

В работе [6] показаны преимущества насадки хэли-пак перед спиралями Фенске для процессов химического обмена между окисью азота и азотной кислотой (табл. 2). Насадка хэли-пак представляет собой отрезки прямоугольной проволоочной спирали, у которой тщательно выдерживается расстояние между соседними витками. Обычные размеры элемента насадки 1,3 × 2,5 × 2,5 и 0,9 × 1,8 × 1,8 мм. Насадка хэли-пак использовалась в основном для промышленного производства N¹⁵ методом обмена между NO и HNO₃ [7], а также при разделении изотопов азота методом обмена между NO и N₂O₃ [8].

Таблица 1

Эффективность треугольной насадки, определенная на эталонной органической и изотопной смесях

Процесс	Диаметр колонны, мм	Насадка и ее размер, мм	Плотность орошения, мл/см ² ·мин	Величина ВЕП, см
Дистилляция эталонной смеси $C_6H_6-CCl_4$	15,0	Треугольная, 2,2×2	1,8 2,5 4,0	1,3 1,75 2,0
Химический обмен $HN^{14}O_3+N^{15}O \rightleftharpoons HN^{15}O_3+N^{14}O$	11,0	То же	0,9 1,3 2,6	2,7 3,1 5,0
Дистилляция $C_6H_6-CCl_4$	15,0	Проволочные кольца; $D_{внутр}=1,2$	1,1 1,7 2,8	1,4 1,8 2,0
Дистилляция BF_3	11,0	То же	0,9 1,6 2,7	1,9 2,1 2,3

Таблица 2

Эффективность различных насадок, определенная при разделении изотопов азота методом химического обмена между NO и HNO_3

Насадка, размер элемента, мм	Диаметр колонны, мм	Высота слоя насадки, м	Плотность орошения, мл/см ² ·мин	Величина ВЕП, см	Литература
Одиночные витки круглой спирали, диаметр 1,7	9,0 26,0	5,75 8,1	1,55 2,8	4,4 12,1	[2]
Отрезки треугольной спирали, 2×2	11,0 11,0 11,0	1,0 1,0 1,0	0,9 1,3 2,6	2,7 3,1 5,0	Данные авторов
Спираль Фенске, 1,6×1,6	10,0 10,0 23,0	1,5 1,5 2,0	1,6 3,2 1,4	8,4 12,5 8,7	[6]
Хэли-пак, 1,3×2,5×2,5	25,0 25,0 25,0	0,95 0,95 1,6	1,6 3,0 5,0 1,6	2,8 4,0 5,8 3,4	[6]

Насадке хэли-пак не уступают по эффективности кольца Диксона, представляющие собой цилиндрики с перегородкой, изготовленные из мелкой проволоочной сетки. Эта насадка очень трудна в изготовлении и требует особых условий для захлебывания [9], однако, несмотря на это, она применялась для промышленного концентрирования изотопа V^{10} методом дистилляции BF_3 [10] и при обменной дистилляции комплекса $(C_2H_5)_2O \cdot BF_3$ [11]. Насадка Диксона использовалась при концентрировании изотопов C^{13} и O^{18} низкотемпературной дистилляцией окиси углерода [12], а также при дистилляции воды [13]. Эта насадка обладает весьма низким перепадом давления, и поэтому ее целесообразно использовать в процессах при пониженном давлении.

В Советском Союзе получила широкое распространение насадка из отрезков треугольной проволоочной спирали, у которой соседние витки смещены на $10-20^\circ$ [14]. Треугольная насадка использовалась в работах по разделению изотопов C^{13} дистилляцией CO [15], O^{18} дистилляцией H_2O [16] и N^{15} методом химического обмена между NO и HNO_3 [18].

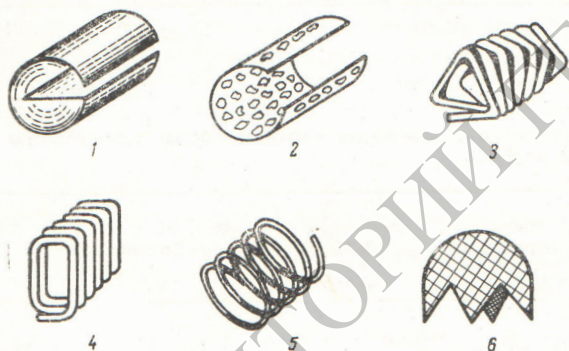


Рис. 1. Высокоэффективные насадки для дистилляционных и обменных колонн:

1 — кольца Диксона; 2 — дырчатая насадка Кэннона; 3 — отрезки треугольной спирали; 4 — хэли-пак; 5 — спирали Фенске; 6 — сетчатые колпачки.

Все перечисленные насадки необходимо захлебывать для повышения эффективности. Описаны попытки создания насадок, исключаящих необходимость захлебывания. В США разработана насадка, представляющая собой перфорированные полуцилиндры, изготовленные из металлической фольги [19]. Отверстия в фольге не вырезаны чисто, а продавлены и имеют на одной стороне заусенцы, способствующие удерживанию жидкости на ее поверхности. Эта насадка, известная под названием

дырчатой, применима в колоннах диаметром более 40 мм. Она использовалась при концентрировании V^{10} методом обменной дистилляции комплексов $(C_2H_5)_2O \cdot BF_3$ [20] и $(CH_3)_2O \cdot BF_3$ [21].

Насадки Диксона, хэли-пак и дырчатая насадка детально изучались на эталонных смесях. Однако до сих пор не проводилось полного исследования свойств таких широко распространенных насадок, как отрезки треугольной и круглой спиралей.

На рис. 1 показаны некоторые типы высокоэффективных насадок.

Исследование свойств треугольной насадки и повышение ее эффективности при работе без предварительного смачивания

Свойства треугольной насадки исследовались нами на эталонной смеси бензол — четыреххлористый углерод. В табл. 3 приведены характеристики насадок различных размеров, исследованных в настоящей работе. Влияние размера элемента на эффективность насадки определялось на колоннах диаметром 26 и 50 мм. Испытывались элементы размером $1,3 \times 1,2$; $2,2 \times 2$ и $3 \times 2,4$ мм, изготовленные из про-

Таблица 3

Характеристики различных проволоочных насадок

Насадка	Размер насадки, мм	Число элементов в 1 см ³	Доля свободного объема	Максимальная плотность упаковки, г/см ³
Отрезки треугольной спирали	$3 \times 2,4$	35	0,88	1,49
	$2,4 \times 3$	45	0,84	1,57
	$2,2 \times 2$	100	0,79	1,94
	$1,5 \times 2$	230	0,73	2,07
	$1,3 \times 1,2$	343	0,64	2,44
Одиночные витки круглой спирали	$D_{\text{внутр}} = 1,2$	1000	0,68	—
Сетчатые колпачки	$2,5 \times 1,7$	250	0,88	—
Колпачки из двойной сетки	$4,5 \times 2,8$	36	0,89	0,96
	$3,0 \times 1,8$	150	0,85	0,84

локи диаметром 0,25 мм. Результаты испытания представлены на рис. 2. Они свидетельствуют о большей эффективности крупной насадки по сравнению с мелкой, что связано с удерживанием жидкости во внутренних полостях элементов капиллярными силами и недоступностью части внутренней поверхности насадки для

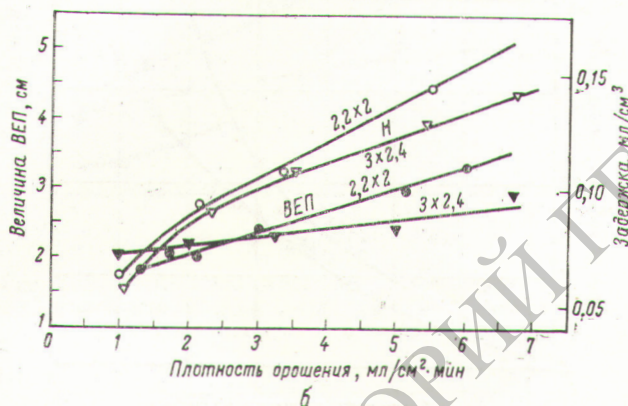
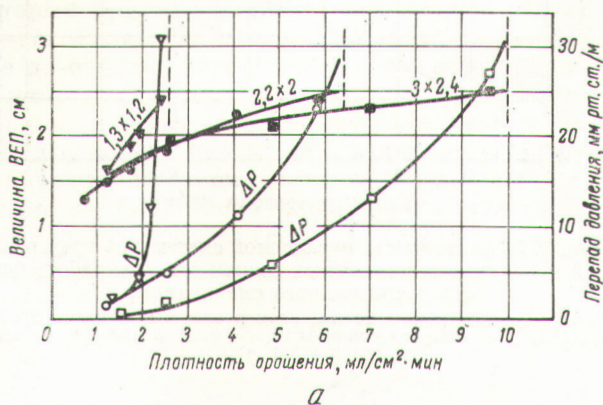


Рис. 2. Зависимость эффективности разделения от размера элемента для треугольной насадки при диаметре колонны 26 и 50 мм (рис. а и б соответственно; пунктиром отмечена предельная пропускная способность насадки).

обмена между жидкостью и газом. Это подтверждается увеличением задержки при переходе от крупной насадки к более мелкой. Таким образом, путем уменьшения размера элемента на треугольной насадке нельзя добиться эффективности, сравнимой с эффективностью насадок Диксона и хэли-пак.

Нами было установлено, что изменение длины отрезка спирали от 1 до 3 мм практически не влияет на эффективность и пропускную способность насадки. Последняя полностью определяется диаметром описанной окружности треугольника.

На рис. 3 представлены результаты исследований на колонне диаметром 26 мм насадок обращенного размера: $2,4 \times 3$ и $3 \times 2,4$ мм (первая цифра относится к диаметру спирали, вторая — к длине отрезка). В то время как величина ВВП у этих насадок примерно одинаковая, пропускная способность значительно выше у элементов с большим диаметром.

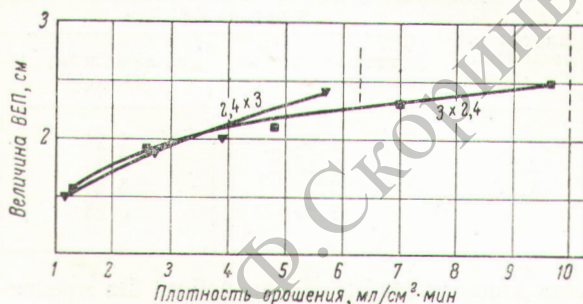


Рис. 3. Влияние диаметра спирали на пропускную способность треугольной насадки (пунктиром отмечена предельная пропускная способность насадки).

Поэтому целесообразно использовать элементы треугольной насадки, у которых длина отрезка спирали несколько меньше диаметра ее описанной окружности. С другой стороны, уменьшение отрезка спирали до двух-трех витков нежелательно, поскольку при этом ухудшаются

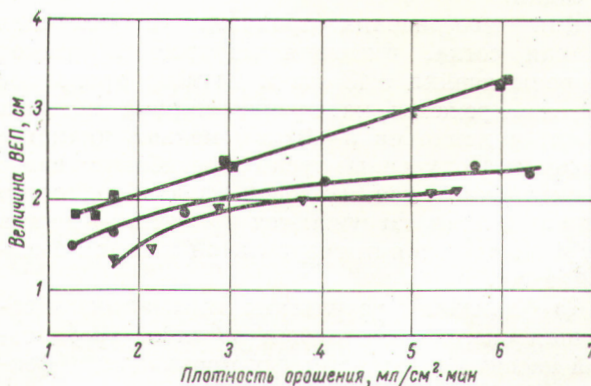


Рис. 4. Зависимость эффективности треугольной насадки от диаметра колонны:
▼ — 15 мм; ● — 26 мм; ■ — 50 мм.

капиллярные свойства насадки. Влияние диаметра колонны на эффективность насадки изучалось на колоннах диаметром 15, 26 и 50 мм и насадке с размером элемента $2,2 \times 2$ мм. Во всех опытах жидкость подавалась из конденсатора на насадку в центр сечения колонны. Результаты опытов, представленные на рис. 4,

свидетельствуют об уменьшении эффективности с увеличением диаметра колонны.

Таблица 4

Влияние предварительного смачивания на эффективность треугольной насадки
(диаметр колонны 50 мм, размер элемента насадки 2,2×2 мм)

Плотность орошения, мл/см ² ·мин	Величина ВЕП, см	
	для захлебнутой насадки	для незахлебнутой насадки
1,4	1,90	4,24
2,2	2,15	5,30
4,3	2,75	5,40
6,0	3,30	6,25

Как видно из табл. 4, при работе без предварительного смачивания эффективность треугольной насадки значительно снижается. Для устранения этого дефекта можно воспользоваться насадочной системой, состоящей из слоев треугольной насадки и специальных капиллярных прокладок, изготовленных из проволоочной сетки [22]. Такие прокладки при работе колонны полностью смачиваются рабочей жидкостью и в свою очередь питают жидкостью и смачивают прилегающие слои треугольной насадки.

Для изготовления прокладок проволоочная тканая сетка, имеющая внутренний размер стороны ячейки 0,18 мм и диаметр проволоки 0,1 мм, режется на куски, ширина которых 8 мм, а длина на 5–10 мм меньше диаметра колонны. Полученные куски перегибаются вдвое и разглаживаются. Полоски из двойной сетки шириной 4 мм загружаются по шесть — десять штук между слоями треугольной насадки высотой 1 см.

Как показали результаты испытаний, насадочная система, состоящая из слоев треугольной насадки и капиллярных прокладок, эффективно работает без предварительного смачивания (рис. 5). Такая система по эффективности превосходит дырчатую насадку, специально разработанную для процессов, исключающих возможность захлебывания. Прокладки из двойной сетки помимо смачивания прилегающих слоев насадки способствуют более равномерному распределению жидкости по сечению колонны; это особенно заметно проявляется на колоннах большого диаметра и при малой высоте слоя насадки. Следует отметить, что прокладки не располагаются точно в плос-

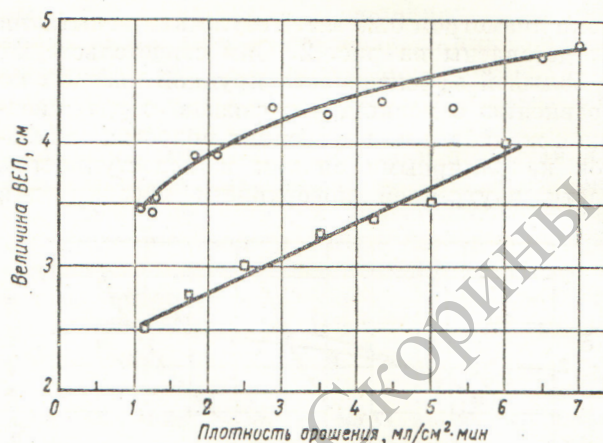


Рис. 5. Эффективность насадочной системы из треугольной насадки и капиллярных прокладок при работе без предварительного смачивания:

□ — диаметр колонны 50 мм, размер элемента насадки 2,2 × 2 мм; ○ — диаметр колонны 94 мм, размер элемента насадки 3 × 2,4 мм.

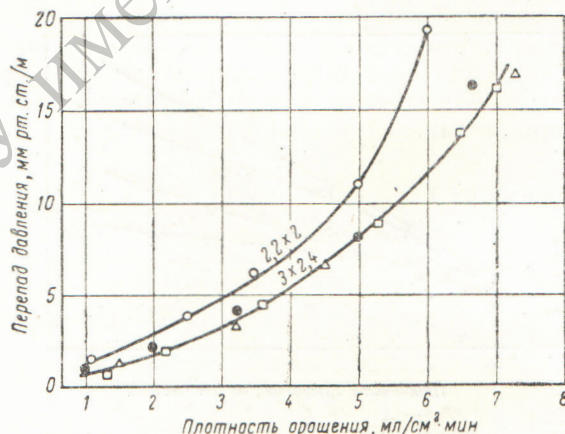


Рис. 6. Гидродинамическое сопротивление треугольной насадки с капиллярными прокладками:

● — захлебнутая насадка без прокладок, $D_{\text{кол}} = 50$ мм;
○, △ — незахлебнутая насадка с прокладками, $D_{\text{кол}} = 50$ мм;
□ — то же, $D_{\text{кол}} = 94$ мм.

кости сечения колонны, поэтому их применение не приводит к возрастанию перепада давления (рис. 6) и не ограничивает производительности колонны.

Исследование треугольной насадки с углом смещения витков 40–50° показало полную ее непригодность для процессов, исключающих возможность предварительного захлебывания. Причина этого заключается в нарушении капиллярных каналов, которые у элементов с малым углом смещения образованы соседними прилегающими витками.

Свойства насадки из отрезков круглой спирали

Насадка из отрезков круглой проволоочной спирали по свойствам мало отличается от описанной выше треугольной насадки. Отрезки круглой спирали, имеющие по шесть — восемь витков, обладают внутренними полостями, в которых при малом диаметре возможно «залипание» жидкости. При уменьшении числа витков до одного — трех этот эффект исчезнет, но вместе с тем значительно ухудшаются капиллярные свойства отрезков спирали, поскольку капиллярными каналами являются углубления между соседними прилегающими витками. Такая насадка плохо работает без предварительного смачивания (рис. 7). Однако короткие

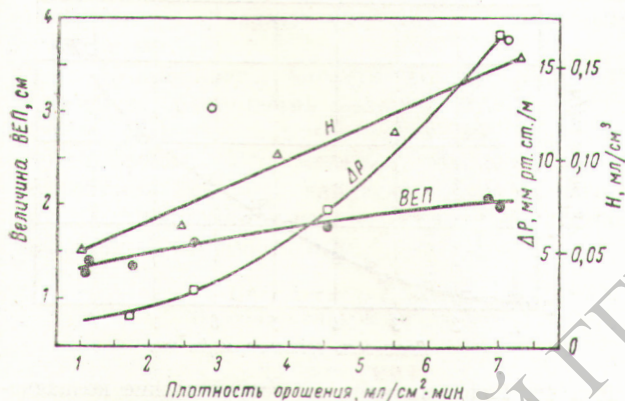


Рис. 7. Эффективность отрезков круглой спирали с размером элемента насадки $2 \times 0,7$ мм (○ — значения ВВП, полученные при работе без захлебывания).

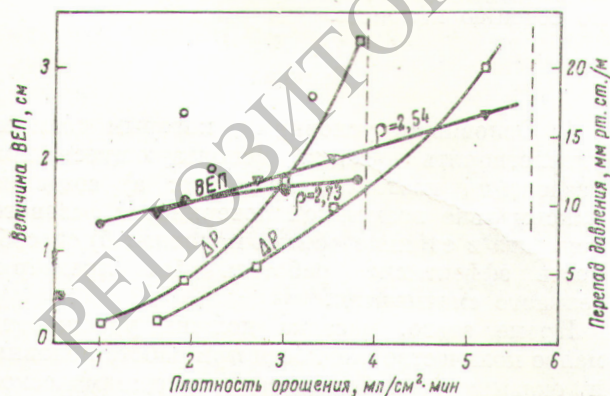


Рис. 8. Зависимость эффективности и пропускной способности от плотности упаковки для одиночных витков круглой спирали размером $1,2 \times 0,25$ мм при диаметре колонны 26 мм (○ — значения ВВП, полученные при работе без захлебывания).

Таблица 5

Эффективность одиночных витков круглой спирали

Внутренний диаметр кольца и диаметр проволоки, мм	Диаметр колонны, мм	Плотность орошения $L, \text{мл/см}^2 \times \text{мин}$	Величина ВЭТС, см	Литература
$1,2 \times 0,25$	7,0	1,5 2,8	1,4 1,8	Данные авторов
$2,38 \times 0,25$	25,4	1,7 3,3 10,0	1,9 2,1 3,0	[23]
$1,59 \times 0,16$	25,4	1,61 3,30 10,0	1,6 1,7 2,5	[23]
$1,2 \times 0,25$	26,0	1,0 1,9 3,8	1,3 1,55 1,8	Данные авторов
$2,38 \times 0,25$	50,8	1,1 2,2 6,6	3,9 4,2 5,2	[23]
$1,2 \times 0,25$	50,0	1,2 2,0 2,6	2,7 3,0 3,2	Данные авторов

отрезки и одиночные витки можно применять в колоннах небольшого диаметра (менее 10 мм), поскольку в этом случае длинные отрезки спирали и насадки других типов не дают достаточной плотности упаковки. В колоннах малого диаметра возможно также применение коротких отрезков и одиночных витков треугольной спирали; однако широкое распространение получили одиночные витки круглой спирали.

Как видно из рис. 8, величина ВВП и особенно пропускная способность одиночных витков сильно зависят от плотности засыпки ρ . Неплотная упаковка, хотя и увеличивает пропускную способность, все же нежелательна, так как со временем это может привести к образованию пустот внутри насадочной части колонны.

Колпачковая насадка из сетки

В колоннах, предназначенных для разделения изотопов, можно применять новую высокоэффективную насадку, имеющую вид полусферы с четырьмя острыми зубцами, изготовленную из мелкой проволоочной сетки (размер ячейки 0,18 мм, диаметр проволоки 0,1 мм) [24]. Элементы насадки изготавливаются продавливанием квадратных кусков сетки через круглое отверстие.

Насадка с размерами элементов $2,5 \times 1,7$ обладает эффективностью, сравнимой с эффективностью насадок Диксона и хэли-пак минимального размера (см. табл. 6), и в то же время выгодно отличается от них простотой изготовления. Так же, как и насадка Диксона, эта насадка требует искусственного захлебывания при рабочей скорости пара.

Таблица 6

Сравнение эффективностей сетчатых колпачков и насадок других типов

Насадка и ее размер, мм	Диаметр колонны, мм	Максимальная пропускная способность, мл/см ² ·мин	Величина ВЕП (см) при нагрузке		Литература
			3 мл/см ² ·мин	5 мл/см ² ·мин	
Сетчатые колпачки, $2,5 \times 1,7$	10,0	7,6	0,88	1,06	[24]
Хэли-пак	13,7	5,0	0,88	1,0	[25]
Кольца Диксона, $1,6 \times 1,6$	12,7	8,3	0,75	1,06	[9]

Для повышения эффективности колпачковой насадки при работе без предварительного смачивания эту насадку можно изготавливать из двойных (перегнутых вдвое) кусков сетки. На рис. 9, 10 приведены результаты испытания колпачков из двойной сетки с размером элемента $4,5 \times 2,8$ при работе без предварительного смачивания. Наряду с высокой эффективностью эта насадка обладает крайне низким перепадом давления, однако величина задержки у нее несколько больше, чем у тре-

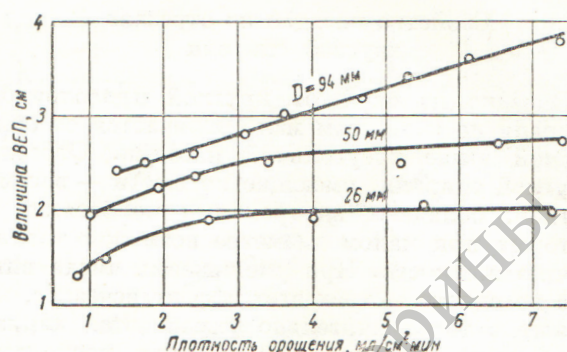


Рис. 9. Зависимость эффективности разделения от диаметра колонны для колпачковой насадки, изготовленной из двойной сетки.

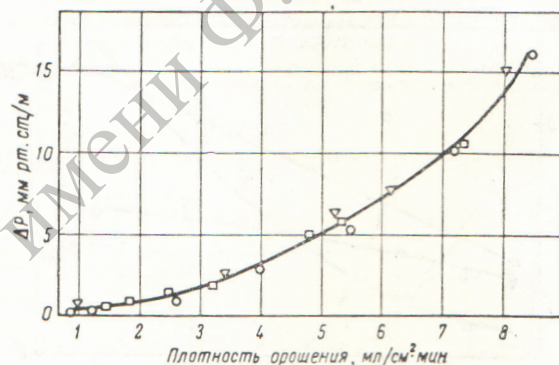


Рис. 10. Гидродинамическое сопротивление колпачковой насадки при диаметре колонны, мм: ○ — 26; ▽ — 50; □ — 94.

угольной насадки. Колпачковая насадка из двойной сетки хорошо распределяет жидкость по сечению колонны.

Выводы

1. Основными условиями, которым должны удовлетворять насадки, используемые при разделении изотопов, являются: а) создание максимально возможной поверхности фазового контакта в единице объема колонны; б) способность эффективно работать без предварительного смачивания.

Кроме этого, насадка должна удерживать малое количество жидкости при работе колонны и оказывать небольшое гидродинамическое сопротивление потоку пара или газа.

2. Область применения одиночных витков круглой спирали ограничена колоннами диаметром менее 10 мм и малыми плотностями орошения.

3. Насадки Диксона и хэли-пак обладают наиболее высокой эффективностью, однако при этом необходимо захлебывание. Кроме того, эти насадки трудны в изготовлении, стоимость их высока.

4. Насадка из отрезков треугольной проволоочной спирали легка в изготовлении, но также плохо работает без предварительного смачивания. Это можно устранить применением насадочной системы, состоящей из треугольной насадки и капиллярных прокладок, изготовленных из двойной сетки. Такая насадочная система по эффективности превосходит дырчатую, специально разработанную для процессов, исключающих возможность захлебывания.

5. Отрезки круглой проволоочной спирали по эффективности одинаковы с треугольной насадкой, однако обладают худшими капиллярными свойствами.

6. Колпачковая насадка по эффективности примерно равноценна кольцам Диксона и насадке хэли-пак и превосходит их простотой изготовления. Эта насадка обладает низкой величиной перепада давления. Будучи изготовленной из двойной сетки, она не требует предварительного смачивания.

Поступила в Редакцию 17/X 1963 г.
В окончательной редакции 13/II 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. К. Мюлленбордт, Г. Ф. Зиверт, Т. А. Гауга. Труды Всесоюзной научно-технической конференции по применению радиоактивных и стабильных изотопов в народном хозяйстве. М., Изд-во АН СССР, 1958, стр. 127.
2. И. Г. Гвердцители и др. «Сообщения АН ГССР», 24, 153 (1960).
3. N. Thode, H. Urey. J. Chem. Phys., 7, 34 (1939).
4. В. В. Оттесен, М. Э. Аэров. «Ж. физ. хим.», 30, 1356 (1956).
5. K. Klusius, K. Schleich, M. Vecchi. Helv. chim. acta, 44, 343 (1961).
6. T. Taylor, W. Spindel. Proceedings of the Symposium on Isotope Separation, Amsterdam, 1957, p. 158.
7. G. Begun, J. Drury, E. Joseph. Industr. and Engng. Chem., 51, 1035 (1959).
8. E. Monse et al. J. Chem. Phys., 32, 1557 (1960).
9. O. Dixon. J. Soc. Chem. Ind. Lond., 68, 88 (1949).
10. P. Nettle, D. Gartwright, H. Kronberger. Proceedings of the Symposium on Isotope Separation, Amsterdam, 1957, p. 385.
11. R. McIlroy, F. Pummery. Там же, стр. 178.
12. H. London. Там же, стр. 319.
13. I. Dostrovsky, A. Ravi. Там же, стр. 336.
14. А. И. Левин. «Нефт. х-во», № 10, 40 (1949).
15. М. В. Тихомиров, Н. Н. Туницкий. «Ж. прикл. хим.», 32, 531 (1959).
16. О. В. Уваров, В. А. Сокольский, Н. М. Жаворонков. «Хим. пром-сть», № 7, 404 (1956).
17. С. И. Бабков, Н. М. Жаворонков. «Хим. пром-сть», № 7, 388 (1955).
18. И. Г. Гвердцители и др. «Атомная энергия», 10, 487 (1961).
19. M. Sapiro. Industr. and Engng. Chem., 41, 1953 (1949).
20. А. Эдмундс, Ф. Лавлесс. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии». Избр. докл. иностр. ученых. Т. 10, М., Атомиздат, 1959, стр. 150.
21. G. Miller, R. Kralik, E. Belmore, J. Drury. Доклад № 1836, представленный США на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958).
22. В. А. Каминский, Г. Л. Парцахашвили. «Ж. прикл. хим.», 36, 2007 (1963).
23. M. Fenske, C. Tongberg, D. Quiggle. Industr. and Engng. Chem., 26, 1169 (1934).
24. В. А. Каминский. «Заводск. лаборатория», 28, 1382 (1962).
25. Перегонка. Под ред. А. Вайсбергера. М., Изд-во иностр. лит., 1954, стр. 179.



УДК 541.15:621.384.60

Некоторые особенности радиолита при действии импульсного пучка быстрых электронов

В. Л. Тальрозе, В. Е. Скурят

Цель работы — изучение основных особенностей радиолита, связанных с применением импульсных ускорителей электронов. Для этого на основе типичного механизма химических реакций свободных радикалов, образованных при действии импульсного пучка быстрых электронов, вычислена зависимость средней стационарной концентрации свободных радикалов $[R]_{ст}$ от скваж-

ности q импульсов электронного тока. Вычисление проводилось при различных мощностях, соответствующих разным скоростям образования свободных радикалов, различных временах длительности импульсов тока и при различных константах гибели свободных радикалов по реакциям первого и второго порядков. Приведены графики зависимости $[R]_{ст}$ от q .