

Кроме того, такое изменение параметров влечет за собой существенное изменение абсолютного значения критерия оптимизации;

б) при заданном качестве получаемой воды ($c = \text{const}$) с уменьшением исходного содержания оптимальная скорость возрастает, а высота слоя уменьшается;

в) при заданном исходном содержании ($c_0 = \text{const}$) с возрастанием требований к глубине очистки воды необходимо увеличивать высоту слоя и одновременно уменьшать линейную скорость;

г) сопоставление режимов работы анионитовых и катионитовых колонн показывает, что оптимальные условия для анионитов смещены в сторону больших скоростей и меньших длин по сравнению с катионитами для одних и тех же вод и глубины очистки.

С увеличением производительности положение оптимальной точки смещается в сторону меньших скоростей и больших высот слоя. Значение критерия оптимизации растет с увеличением производительности по закону, близ-

кому к линейному (с точностью до нескольких процентов).

Поступила в Редакцию 11/V 1970 г.
В окончательной редакции 26/X 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Г. Прохоров, М. С. Шкроб. Водоподготовка и водный режим паротурбинных электростанций. М.—Л., Госэнергоиздат, 1951.
2. А. А. Кастальский. Проектирование установок для химического обессоливания воды. М., Стройиздат, 1964.
3. А. А. Кот. Водоподготовка и водный режим атомных электростанций. М., Атомиздат, 1964.
4. Н. К. Галкина, М. М. Сенявин. Ж. физ. хим., 43, 1783 (1969).
5. В. А. Никашина, Р. Н. Рубинштейн, М. М. Сенявин. Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Неорганические ионообменные материалы (Ленинград, 1970)», стр. 8.
6. В. А. Никашина, Б. И. Волков. Теория ионного обмена и хроматографии. М., «Наука», 1968, стр. 166.
7. К. О. Беннетт, Дж. Е. Майерс. Гидродинамика, теплообмен, массообмен. М., «Недра», 1966.
8. И. В. Комарова, Р. Н. Рубинштейн, М. М. Сенявин. Труды научно-технической конференции по очистке воды. Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1971, стр. 6.

Очистка контурных вод методом дистилляции

В. Ф. БАГРЕЦОВ, С. И. ЗАХАРОВ

УДК 621.15:621.039.714

Очистка вод первых контуров реакторов и бассейнов выдержки в НИИАР производится дистилляцией на вышарных аппаратах ВН [1]. Для очистки пара применяется сепарационное устройство, состоящее из двух промывочных и одного выравнивающего листов. Первые результаты работы вышарной установки были изложены в докладе [2]. В настоящем сообщении приведены данные о влиянии уровня упариваемого раствора, производительности аппарата, количества флегмы, концентрации солей в упариваемом растворе и давления вторичного пара на количество получаемого дистиллята. Перед исследованием в схеме установки были проведены некоторые изменения: 1) на трубах слива флегмы установлены гидрозатворы высотой 250 мм (исключена возможность протечки пара из испарителя в сепаратор помимо промывочных листов); 2) исходный раствор подавали в нижнюю часть циркуляционной трубы; 3) для непрерывного контроля за качеством получаемого дистиллята после конденсатора установили солемер с датчиком. Вторичные приборы поместили на щит управления.

Химический и радиохимический составы исходных растворов были такими же, как

и ранее [2]. Результаты опытов приведены в табл. 1—4.

Влияние «холодного» уровня и упариваемой жидкости на качество получаемого дистиллята

Таблица 1

Уровень жидкости в испарителе, мм	Удельная активность, кюри/л		
	дистиллята	флегмы среднего листа	флегмы верхнего листа
-180	$3 \cdot 10^{-9}$	$9,4 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-8}$
-100	$2,6 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$
-50	$3,1 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$
+100	$8,7 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$8,8 \cdot 10^{-8}$
+250	$9,6 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$

Условия опыта: производительность 5 т/ч; расход флегмы 500 кг/ч; давление вторичного пара 0,2 кг/см². Нулевое положение «холодного» уровня жидкости в испарителе находилось на 250 мм ниже квадратного фланцевого перехода между греющей камерой и сепаратором.

Объем сепаратора между упариваемой жидкостью и промывочным листом значителен (4,8 м³) и казалось бы, что небольшое изменение этого

Зависимость качества дистиллята от производительности аппарата, давления вторичного пара и расхода флегмы

Таблица 2

Производительность аппарата, т/ч	Давление вторичного пара, кг/см ²	Расход флегмы, кг/ч	Дистиллят		Флегма среднего листа		Флегма верхнего листа	
			удельная активность, кюри/л	солеосодержание, мг/л	удельная активность, кюри/л	солеосодержание, мг/л	удельная активность, кюри/л	солеосодержание, мг/л
5,0	0,2	250	$4,3 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	3,5	$4,5 \cdot 10^{-7}$	3,2
		500	$3,4 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	$6,0 \cdot 10^{-7}$	3,0	$2,5 \cdot 10^{-7}$	1,2
		750	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	$3,8 \cdot 10^{-7}$	2,5	$1,2 \cdot 10^{-7}$	1,8
		1000	$6,0 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$\leq 1,0$	$6,7 \cdot 10^{-8}$	1,6
5,0	0,4	250	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$\leq 1,0$	$9,0 \cdot 10^{-7}$	$\leq 1,0$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$\leq 1,0$
		500	$9,0 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	2,2	$1,7 \cdot 10^{-7}$	1,4
		750	$8,0 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	$2,6 \cdot 10^{-7}$	1,2	$8,8 \cdot 10^{-8}$	$\leq 1,0$
		1000	$6,0 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$\leq 1,0$	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$\leq 1,0$
7,5	0,2	250	$2 \cdot 10^{-8}$	$\leq 1,0$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	1,2	$5,7 \cdot 10^{-6}$	1,3
		500	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$\leq 1,0$	$7,3 \cdot 10^{-6}$	2,0	$4,3 \cdot 10^{-6}$	1,6
		750	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$\leq 1,0$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$\leq 1,0$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$\leq 1,0$
		1500	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$\leq 1,0$	$6,2 \cdot 10^{-6}$	1,4	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$\leq 1,0$
	0,4	375	$8 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$\leq 1,0$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$\leq 1,0$
		750	$9 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$\leq 1,0$	$8,1 \cdot 10^{-7}$	$\leq 1,0$
		1125	$8 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	1,1	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$\leq 1,0$
		1500	$1 \cdot 10^{-8}$	$\leq 1,0$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$\leq 1,0$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$\leq 1,0$

Примечание. Солеосодержание в кубовом концентрате $\sim 1,0$ г/л.

объема (5—7,5%) в результате изменения положения уровня упариваемой жидкости не будет оказывать сильного влияния на очистку пара. Однако данные табл. 1 показывают, что при изменении уровня упариваемой жидкости на 300—450 мм содержание радиоактивных элементов в паре изменяется в три раза. Таким образом, в исследуемом аппарате оптимальным «холодным» уровнем следует считать уровень, лежащий на 300—400 мм ниже квадратного фланцевого перехода между греющей камерой и сепаратором. Результаты этого опыта дают основание утверждать, что уменьшать объем парового пространства сепаратора нецелесообразно.

Из данных табл. 2 следует, что увеличение расхода флегмы выше 5,0% (на каждый лист) мало влияет на степень очистки пара от радиоактивных элементов. Увеличение давления вторичного пара при прочих равных условиях приводит к улучшению очистки пара, так как при этом линейные скорости пара уменьшаются. Промывочное устройство неправильного типа позволяет при необходимости увеличивать производительность установки в 1,5 раза. Степень очистки пара в таком случае снижается

незначительно. В этом еще одно преимущество промывных тарелок перед стекловолконном.

Для очистки пара от мельчайших частичек упариваемой жидкости с успехом применяется стекловолконно [3], преимущество которого по сравнению с другими сепарирующими устрой-

Качество дистиллята при промывке пара на одном листе Таблица 3

pH	Дистиллят		Флегма среднего листа			Флегма верхнего листа		
	удельная активность, кюри/л	солеосодержание, мг/л	pH	удельная активность, кюри/л	солеосодержание, мг/л	pH	удельная активность, кюри/л	солеосодержание, мг/л
6,1	$1,3 \times 10^{-8}$	$\leq 1,0$	6,3	$2,5 \times 10^{-6}$	3,0	—	—	—
7,1	$9 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,0$	—	—	—	6,6	$2,3 \times 10^{-6}$	4,1

Условия опыта: производительность 7,5 т/ч, давление вторичного пара $0,25 \div 0,28$ кг/см², расход флегмы 750 кг/ч.

ствами состоит в том, что оно не требует промывочной жидкости (экономия греющего пара). Недостаток стекловолокна — при повышении скорости пара выше 0,4–0,5 м/сек происходит его «захлебывание» (влага не дренируется из стекловолокна) и очистки пара от капель влаги, а следовательно, и от примесей не происходит.

Важным технологическим показателем работы выпарной установки является коэффициент очистки ($K_{оч}$) образующегося пара от радиоактивных элементов. Для получения дистиллята определенной чистоты в зависимости от радиохимического состава и $K_{оч}$ радиоактивных элементов приходится поддерживать определенную степень концентрирования в испарителе. В общем случае чем выше $K_{оч}$, тем большую степень упаривания можно поддерживать на установке, т. е. ниже будет стоимость обработки растворов.

Авторы работы [4] предлагают концентрацию радиоактивных элементов в паре определить расчетным путем, пользуясь номограммой зависимости видимых коэффициентов распределения ($K_i^{вид}$) «соединений изотопов». Они считают, что «загрязнение» насыщенного водяного пара при кипении воды происходит двумя путями:

1) за счет механического капельного уноса влаги (при этом загрязнение пара определяется величиной влажности пара и концентрацией примесей в воде);

2) за счет истинного растворения примесей в паре. В этом случае коэффициент распределе-

ния K_{pi} определяется химической природой соединения, его состоянием в растворе и давлением:

$$K_{pi} = \frac{C_{pi}}{C_{vi}},$$

где C_{pi} ; C_{vi} — концентрация i -го компонента в паре и воде соответственно. По их мнению концентрация i -го изотопа в паре при данном давлении определяется концентрацией его в воде и коэффициентом выноса ($K_i^в$). Под коэффициентом выноса i -го компонента подразумевается отношение его суммарной концентрации в паре к суммарной концентрации в воде.

Если при рассмотрении систем, примеси в которых находятся в макроконцентрациях, с определенными оговорками эти рассуждения допустимы, то при рассмотрении систем, содержащих примеси в микроконцентрациях, эти закономерности часто не соблюдаются. Видимый коэффициент распределения изотопов $K_i^{вид}$ при одном и том же давлении и влажности пара — величина переменная. Как указывают сами авторы [4], с изменением концентрации взвешенных частиц в воде $K_i^{вид}$ будет изменяться. Известно, что радиоактивные элементы сорбируются поверхностью металла, осадками карбонатов, фосфатов, соединений кремния, гидроксидов металлов; сорбция сильно зависит от рН среды. Часть этих осадков будет находиться как в виде взвеси, так и в виде пленки на металле, т. е. даже при незначительном

Влияние концентрации солей в испарителе на коэффициент очистки пара

Таблица 4

Номер пробы раствора	Удельная активность, <i>кюри/л</i>			Солеcодержание, <i>мг/л</i>		Коэффициент очистки
	Исходный раствор	Дистиллят	Кубовый остаток	Исходный раствор	Кубовый остаток	
1	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-8}$	—	9,0	—	—
2	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-1}$	10,5	—	$8 \cdot 10^{-4}$
3	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-6}$	—	27,0	—	—
4	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-6}$	—	19,0	—	—
5	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	—	3 930	$1,8 \cdot 10^6$
6	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	—	790 *	$5,7 \cdot 10^4$
7	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	—	14 870	$1,6 \cdot 10^7$
8	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-2}$	2,8	3 450 *	$2,5 \cdot 10^5$
9	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-4}$	—	136 *	$1,5 \cdot 10^4$
10	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-3}$	10,3	380	$3,3 \cdot 10^5$
11	—	$5 \cdot 10^{-9}$	$9 \cdot 10^{-4}$	—	330	$1,8 \cdot 10^5$

Условия опыта: производительность 5 т/ч; расход флегмы 250 кг/ч, давление вторичного пара 0,1–0,2 кг/см², солеcодержание в дистилляте не выше 1 мг/л.

* Часть раствора из испарителя была удалена.

изменении рН среды содержание i -го радиоактивного элемента в воде может значительно изменяться (процесс сорбции и десорбции с поверхностей пленок).

Следовательно, значения $K_i^{\text{вид}}$, определенные экспериментально, очень сильно зависят от условий, при которых они определялись. Кроме того, давно установлено [5], что сорбируемые на осадках радиоактивные элементы теряют свои индивидуальные свойства, т. е. в системе «пар — вода + взвесь» следует рассматривать распределение между водой и паром не данного радиоактивного элемента, а осадка. Наконец, многие радиоактивные элементы III—VIII групп периодической системы элементов в нейтральной и щелочной средах находятся в растворе в виде радиоколлоидов или псевдоколлоидов. Насколько нам известно, поведение радиоколлоидов в водных системах при высоких температурах пока не изучено.

Исходя из изложенных выше соображений, следует ожидать, что во многих случаях различие в значениях $K_i^{\text{вид}}$ для i -го радиоактивного элемента может быть в 1000 и более раз. Данные, приведенные авторами работы [4, табл. 3, 4, рис. 2), подтверждают этот вывод: на однотипных реакторах при одних и тех же параметрах коэффициенты распределения для $\text{Co}^{58,60}$ получены равными $5 \cdot 10^{-2}$ и $3,3 \cdot 10^{-4}$, для Fe^{59} — 0,11 и 10^{-3} . Данные, приведенные в табл. 4, также подтверждают этот вывод: при одних и тех же параметрах работы выпарной установки $K_{\text{оч}}$ сильно зависит от содержания в растворе, т. е. чем больше осадков образуется в жидкой фазе, тем выше $K_{\text{оч}}$.

Приведенные данные показывают, что при использовании выпарных аппаратов типа ВН для очистки малосолевых радиоактивных растворов оптимальные режимы их работы необходимо подбирать опытным путем, а для промывки пара достаточно устанавливать один промывочный лист. Коэффициенты распределения радиоактивных элементов между кубовым остатком и паром непостоянны и зависят от многих факторов. Поэтому предлагаемый некоторыми авторами метод расчета распределения радиоактивных элементов между паром и раствором, основанный на уравнении материального баланса, практически нельзя использовать, так как многие закономерности поведения отдельных радиоактивных элементов в системах «пар — раствор» и «пар — твердая фаза» при высоких температурах и давлениях пока изучены недостаточно.

Поступила в Редакцию 8/VII 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Колич, Д. В. Радун. Выпарные станции. М., Машгиз, 1963.
2. В. Ф. Багрецов и др. Practices in the treatment of low- and intermediate level radioactive wastes. Vienna, IAEA, 1966, p. 339.
3. А. Г. Касаткин, Ю. И. Дытнерский, С. И. Умарев. «Химическая промышленность», № 3, 38 (1958).
4. О. И. Мартынова и др. «Атомная энергия», 23, 305 (1967).
5. А. К. Лаврухина, Т. В. Малышева, Ф. И. Павлоцкая. Радиохимический анализ. М., Изд-во АН СССР, 1963, стр. 14.

Некоторые вопросы гидродинамики кипящего корпусного реактора

А. П. САРЫГИН, И. Н. СОКОЛОВ, В. И. КОНДРАТЬЕВ, Е. В. КУЛИКОВ,
И. С. ДУБРОВСКИЙ, Е. В. КОЗИН

УДК 621.039.576

Отвод тепла от реактора с помощью естественной конвекции кипящей воды во многом зависит от гидродинамических характеристик циркуляционного контура. Исследование циркуляционного контура реактора ВК-50 позволило уточнить количественные значения некоторых параметров, заложенных в конструкцию реактора, разработать меры, обеспечивающие надежную эксплуатацию, и получить экспериментальные данные, необходимые для проектирования реакторов больших мощностей.

Циркуляционный контур

Описание реактора ВК-50 дано в работах [1, 2]. Контур естественной циркуляции реактора состоит из системы параллельных парогенерирующих кассет активной зоны, «тягового» участка и двух параллельных опускных каналов. Наружный («холодный») опускной канал вместе с центральной группой кассет активной зоны и внутренний («горячий») опускной канал с периферийными кассетами образуют две ветви