

Подобная обработка трех опытов из работы [1] приведена на рисунке. Кривые 1—3 характеризуют соответственно данные опытов № 2, 5 и 7 на покрытом магнетитовыми отложениями нагревателе 6, согласно нумерации экспериментов в работе [1]. Толщина отложений 25 мкм. Опытным точкам на этих кривых соответствуют максимальные степени концентрирования, зафиксированные на каждом исследовавшемся уровне тепловых нагрузок и теплофизических параметров. В первых двух случаях экспериментальные точки хорошо легли на прямые, найденные по методу наименьших квадратов. Коэффициент корреляции соответственно 0,992 и 0,95. В области диаграммы, где прямые проведены пунктиром, они не должны проходить через экспериментальные точки, так как здесь не выполняется равенство (9).

Кривая 1 соответствует опыту, в котором наблюдается хорошая количественная сходимость рассмотренной теории и экспериментальных данных, так как десятичный логарифм тангенса угла наклона равен 1,07, что очень близко к длине отрезка, отсекаемого кривой 1 от оси ординат в отрицательной области 1,01. В этом опыте тепловой поток на экспериментальном участке последовательно увеличивался, и регистрируемая степень концентрирования ^{22}Na в отложениях непрерывно нарастала. Максимальные степени концентрирования, зафиксированные на каждом уровне тепловой нагрузки, видимо, были близки к равновесным значениям.

Опытные точки, соответствующие кривой 2, получены при одинаковом тепловом потоке. Менялись только давление в стенде и, следовательно, значения v' , r , D в выражении (8). В результате опытные точки на рисунке расположились очень близко. Логарифм тангенса угла наклона кривой 1,19, а длина отрезка, отсекаемого от оси ординат в отрицательной области, 1,38. Согласно между этими значениями следует считать достаточно хорошим, учитывая кучность точек на кривой 2 и их удаленность от оси ординат.

В опыте, соответствующем кривой 3, тепловой поток попеременно то увеличивался, то снижался. При этом равновесные значения степени концентрирования (особенно при больших тепловых нагрузках), вероятно, не достигались. Для таких условий приведенные зависимости перестают быть справедливыми, и, видимо, поэтому проходящая через экспериментальные точки кривая 3 имеет

перегиб. Тем не менее нижние три точки, в которых степень концентрирования наименьшая и должна быть более близкой к равновесной, качественно соответствуют теории, так как проведенная через них прямая пересекает ось ординат в отрицательной области.

Из рисунка следует, что предложенные в настоящей статье зависимости для количественной оценки степени концентрирования растворимых примесей воды в слое пористых отложений на парогенерирующей поверхности достаточно хорошо подтверждаются результатами изотопных исследований этого явления [1]. При расчетах по формулам (4) и (5) неопределенной величиной является K/a . Как видно из рисунка, в экспериментах [1] K/a было примерно равно 10—20, но менялось от опыта к опыту, хотя все измерения проводились в одной точке одного экспериментального участка с отложениями. По-видимому, непостоянство K/a связано с тем обстоятельством, что в пористой структуре отложений продуктов коррозии нет строго фиксированных питающих капилляров, а пути подвода питающей воды через поры в отложениях к менискам в основании паровых тоннелей в каждом случае формируются случайно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Picone L., Whyte D., Taylor C. WCAP-3731, 1963.
2. Стырикович М. А. и др. «Теплофизика высоких температур», 1977, т. 15, № 2, с. 353.
3. Macbeth R. AEEW-R711, 1971.
4. Cohen P. «Amer. Inst. Chem. Engng Symp. Series», 1974, в. 70, N 138, p. 71.
5. Стырикович М. А., Леонтьев А. И., Малышенко С. П. «Теплофизика высоких температур», 1976, т. 14, № 5, с. 998.
6. Полонский В. С. и др. «Докл. АН СССР», 1978, т. 241, № 3, с. 579.
7. Macbeth R., Trenberth R., Wood R. AEEW-R705, 1971.
8. Рассохин Н. Г. и др. «Теплоэнергетика», 1973, № 9, с. 12.
9. Huijbregts W., Genlgersma G., Snel A. KEMA Rapport N III, 9884-74, 1974.

Поступило в Редакцию 6.08.79

УДК 621.039.5

О возможности наращивания масштаба топливного цикла для различных быстрых реакторов

ШМЕЛЕВ А. Н., ЮРОВА Л. Н.

Решение задачи обеспечения топливом развивающейся ядерной энергетики (ЯЭ) связывают с вводом в эксплуатацию быстрых реакторов-размножителей (БР). Однако такая задача не является достаточно простой, что обусловливается рядом обстоятельств, среди которых можно отметить следующие:

БР технически более сложны и требуют больших капиталовложений по сравнению с реакторами на тепловых нейтронах;

машинностроительная база на этапе ввода БР в значительной мере может быть ориентирована на интенсивное наращивание мощностей ЯЭ с реакторами на тепловых нейтронах;

некоторая неопределенность в оценках запасов дешевого урана может сдерживать интенсивный массовый ввод энергетических мощностей БР.

Как указывается в работе [1], в развивающейся ЯЭ широкий ввод БР в 90-х годах будет обеспечен достаточным количеством плутония для загрузки. В этих условиях

ориентация на ввод БР с пониженной удельной загрузкой может привести к задержкам в вовлечении накопленного плутония и наращивании масштаба топливного цикла быстрых реакторов.

В то же время использование на этом этапе БР с повышенными удельной загрузкой и темпом избыточного воспроизводства (с таким же временем удвоения, как у БР с пониженной удельной загрузкой) могло бы позволить развить в большем масштабе их топливный цикл за счет более раннего вовлечения накопленного плутония и последующего его размножения. Это потребовало бы меньших капиталовложений и меньших потребностей в машиностроительной базе для развертывания БР. Для иллюстрации этих соображений были выполнены расчетные оценки увеличения масштаба топливного цикла БР.

Предположим, что к моменту начала ввода БР с темпом ω_c ($\omega_c > \omega_0$) (где ω_0 — собственный темп развития системы быстрых реакторов) тепловыми реакторами накоплено количество топлива $G(0)$. Изменение масштаба топ-

Относительное увеличение масштаба топливного цикла и сокращения мощностей при использовании БР с повышенными удельной загрузкой и темпом избыточного воспроизводства топлива

Параметр	$\frac{G_0}{g_6}$	$\frac{\omega_0}{\omega_c}$	g'_6/g_6		
			1	2	3
G'_{II}/G_{II}	10	0,5	1	1,374	1,626
$W(g')/W(g)$			1	0,687	0,542
G'_{II}/G_{II}	—	0,25	1	1,166	1,26
$W(g')/W(g)$			1	0,583	0,42
G'_{II}/G_{II}	20	0,5	1	1,404	1,689
$W(g')/W(g)$			1	0,702	0,563
G'_{II}/G_{II}	—	0,25	1	1,176	1,29
$W(g')/W(g)$			1	0,588	0,43

ливного цикла БР будем оценивать отношением G'_{II}/G_{II} , где G_{II} — количество топлива в топливном цикле при использовании БР с удельной загрузкой g_6 на момент времени T_0 , когда будет вовлечен весь накопленный плутоний $G(0)$; G'_{II} — количество топлива в топливном цикле на тот же момент времени T_0 при использовании БР с удельной загрузкой $g'_6 > g_6$.

Результаты расчетов G'_{II}/G_{II} при различном количестве накопленного плутония $G(0)/g_6$ и различных темпах ввода БР ω_0/ω_c приведены в таблице. Можно видеть, что при использовании БР с повышенной удельной загрузкой ($\omega_0 = \text{const}$) масштаб развития их топливного цикла заметно увеличивается. Это объясняется более ранним вовлечением накопленного плутония и последующим его размножением в течение рассматриваемого периода времени. В этой же таблице приведены и относительные уровни мощности БР с $g'_6 - W(g')$ и БР с $g_6 - W(g)$. Использование в самом начале БР с $g'_6 > g_6$ позволяет в большей мере развить масштаб топливного цикла при меньшем уровне энергетических мощностей БР, а следовательно, с меньшими капиталовложениями и меньшей загрузкой машиностроительной базы. Даже при темпе ввода БР, в 4 раза превышающем собственный темп их развития, учет размножения топлива может привести к заметному (приблизительно на 25%) увеличению масштаба топливного цикла БР.

Отметим, что в работе [2] уже было обращено внимание на важность фактора воспроизводства топлива в БР в начальный период их ввода, там же приведена формула, связывающая приведенные затраты за этот период в раз-

вивающейся ЯЭ с удельной загрузкой и темпом избыточного воспроизводства реакторов. Для принятых в настоящей статье исходных предположений из этой формулы следует, что в начальный период ввода БР с повышенными удельной загрузкой и темпом избыточного воспроизводства приведенные затраты оказываются несколько меньше, чем при использовании БР с пониженными удельной загрузкой и темпом избыточного воспроизводства.

Поскольку подпитка тепловых реакторов топливом на этапе развитой ЯЭ будет выражаться не в относительных единицах, а в его натуральном количестве, целесообразно наращивать именно масштаб топливного цикла БР, что, однако, не эквивалентно интенсивному наращиванию энергетической мощности системы БР.

Таким образом, с учетом возможных задержек начала ввода, а также некоторого снижения темпа ввода энергетических мощностей БР с повышенной удельной загрузкой могут обеспечить более быстрое и устойчивое наращивание масштаба топливного цикла, что в конечном счете будет способствовать переводу ЯЭ в сбалансированный топливный цикл. Характер распределения капитальных вложений показывает, что основная их доля направляется на строительство АЭС и только ~20% — на развитие предприятий топливного цикла [1]. По этой причине наибольший эффект в экономии капиталовложений дает снижение затрат на сооружение АЭС. Как известно, АЭС с БР требуют повышенных капитальных вложений, и такое положение, видимо, сохранится на начальном этапе массового ввода. Эти обстоятельства также не указывают на целесообразность наращивания именно энергетических мощностей АЭС с БР.

Заметим, что приведенные оценки натуральных показателей, конечно, не могут дать исчерпывающего ответа относительно эффективности использования БР с повышенными удельной загрузкой и темпом избыточного воспроизводства. Это может быть определено лишь при всестороннем экономическом рассмотрении.

Вывод. При использовании БР с повышенными удельной загрузкой и темпом воспроизводства на начальном этапе их массового ввода появляется возможность более быстро вовлечь накопленный, а также и поступающий из тепловых реакторов плутоний и размножить его с меньшими капиталовложениями. Это свойство таких реакторов может быть использовано, например, для снижения темпов ввода их энергетических мощностей, а следовательно, и снижения темпов и капитальных вложений без ущерба для наращивания масштаба топливного цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дергачев Н. П. и др. «Атомная энергия», 1977, т. 43, вып. 5, с. 365.
2. Каграманян В. С., Лыткин В. Б. Препринт ФЭИ-449. Обнинск, 1973.

Поступило в Редакцию 28.09.79

УДК 621.039.34

К учету противотока в масс-диффузионном элементе

КАМИНСКИЙ В. А., САРИШВИЛИ О. Г., СУЛАБЕРИДЗЕ Г. А., ТЕВЗАДЗЕ Г. А., ЧУЖИНОВ В. А., НАДОЛИНСКИЙ В. П.

В работах [1, 2] рассматривалась модель разделительного процесса, в которой обратный конвективный перенос газа через диафрагму не оказывал существенного влияния на элементарный эффект разделения. Это справедливо для диафрагм небольшой длины, до сих пор используемых на практике [3, 4]. В этом случае концентрация легкого компонента в точке подачи питания c_f совпадает с концентрацией в потоке питания c_F , и совместное решение уравнения продольного переноса с уравнением внешнего баланса сразу дает соотношение для коэффициента обога-

щения, причем влияние обеднения концентрации легкого компонента при течении вдоль диафрагмы на эффект разделения учитывается зависимостью ϵ от коэффициента деления потока газа θ .

В реальном элементе обедняемый и обогащенный потоки по обе стороны диафрагмы движутся навстречу в продольном направлении. При этом конкурирующее действие процессов молекулярной диффузии и обратного конвективного переноса приводит к профилю потоков внутри элемента, изображенному на рис. 1. Эти же процессы