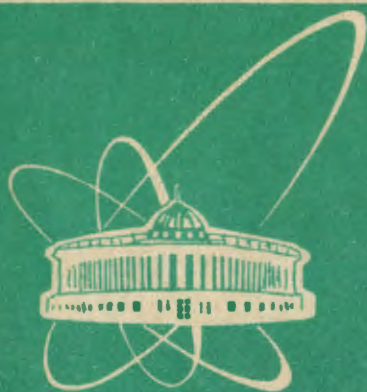


93-235



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P2-93-235

А.Н.Соснин, Л.Г.Левчук, С.Ю.Шмаков

ЭЛЕКТРОЯДЕРНАЯ МИШЕНЬ С ВОДОЙ
В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Направлено в журнал «Атомная энергия»

1993

ВВЕДЕНИЕ

В [1,2] было рассмотрено влияние жидкометаллических теплоносителей на характеристики электроядерных систем. Данная работа имеет целью исследовать эффекты, связанные с использованием воды в качестве теплоносителя. Этот вопрос представляет особый интерес в связи с принципиальной возможностью воспроизводить вторичное ядерное горючее непосредственно в твэлах тепловых реакторов для их вторичного использования в топливном цикле.

Мы ограничились сравнением двух мишеней электроядерной установки, имеющих одинаковые геометрические размеры и различающихся лишь тем, что в первой в качестве теплоносителя использовалась вода ($t = 20^\circ\text{C}$, $\rho = 1 \text{ г/см}^3$), а во второй — свинец (Pb^{207}). Размеры мишеней такие же, как в работах [1,2]: наружный диаметр бланкета $D = 120 \text{ см}$, длина бланкета $L = 90 \text{ см}$, длина канала для ввода пучка первичных протонов с энергией 1 ГэВ $Z = 26 \text{ см}$, диаметр свинцового сердечника $L_p = 64 \text{ см}$. Некоторые отличия имеются в составе бланкетов электроядерных установок, по сравнению с бланкетами, изученными в работах [1,2]. В данной работе рассмотрен состав бланкета, аналогичный составу активной зоны реактора на тепловых нейтронах ВВЭР-1000 [3]. Состав этого бланкета приводится в табл. 1. Следует также заметить, что в составе бланкета мы рассматривали не UO_2 , а металлический уран ($\epsilon_{\text{U}^{238}} + \text{U}^{235} = \epsilon_{\text{UO}_2}$, где ϵ_{UO_2} — объемная доля UO_2 в загрузке активной зоны ВВЭР-1000).

Таблица 1. Состав бланкета электроядерной установки

Вещество	$\text{U}^{238} + \text{U}^{235}$	Fe^{56}	$\text{H}_2\text{O}(\text{Pb}^{207})$
Объемная доля, %	34,2	12,0	53,8

При численных расчетах использовались те же программы, что и в [1,2]. Внесены лишь изменения, касающиеся взаимодействия высокоэнергетических частиц (нуклонов с $\tau \geq 10\text{—}15 \text{ МэВ}$ и мезонов с $\tau \geq 2 \text{ МэВ}$) с ядрами водорода (отсутствует возможность образования внутриядерного

БИБЛИОТЕКА

каскада). Использована также существенно меньшая энергия обрезания низкоэнергетических нейтронов, что позволило учесть хорошие замедляющие свойства воды (энергия обрезания в рассматриваемых расчетах равна $T_{обр} = 10^{-4}$ эВ). Кроме того, была учтена анизотропия рассеяния в лабораторной системе координат нейтронов ($\tau \leq 10,5$ МэВ) на ядрах водорода. Все расчеты выполнены в рамках "газовой модели" (все элементы, входящие в состав бланкета, перемешаны, и не учитывается химическая связь водорода и кислорода в воде). Сечения всех элементов в области $\tau < 0,215$ эВ рассматривались постоянными: $\sigma(\tau < 0,215 \text{ эВ}) = \sigma_0$, где σ_0 — сечение элемента при $\tau = 0,0252$ эВ. При вычислениях учитывалось тепловое движение ядер водорода в соответствии со спектром Максвелла — Больцмана.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

В обоих случаях вычисления производились для обедненного урана (0,3% U^{235}). Результаты приведены в табл. 2 (интегральные характеристики мишеней в расчете на один первичный протон) и в табл. 3 (спектры нейтронов с $\tau \leq 10,5$ МэВ).

Таблица 2. Характеристики бланкетов электроядерных установок с водяным и свинцовым теплоносителями (на один первичный протон)

	H ₂ O	Pb ²⁰⁷
Число делений в U^{238} , n_{fs}	2,63	3,29
Число захватов в U^{238} , n_{c8}	33,5	30,6
Число делений в U^{235} , n_{fs}	8,32	0,65
Число захватов в U^{235} , n_{c5}	4,66	0,27
Число родившихся хорошо делящихся ядер, $n_g = n_{c8} - n_{c5} - n_{fs}$	23,5	29,7
Полное число захватов, n_c	44,8	32,3
Число вылетевших нейтронов, n_{out}	1,4	14,1
Полное число нейтронов, $n = n_c + n_{out}$	46,2	46,4
Тепловыделение, ГэВ:		
Деление ($\tau \leq 10,5$ МэВ)	1,86	0,64
Деление ($\tau > 10,5$ МэВ)	0,22	0,26
Ионизация, Q_{ion}	0,70	0,59
Полное тепловыделение, Q	2,78	1,50

Как видно, полное число нейтронов на один первичный протон получается примерно одинаковым для обеих мишеней. Однако заметен резкий

спад числа нейтронов, вылетающих за пределы бланкета мишени в случае воды (примерно на порядок), и, следовательно, рост числа захватов в топливе, конструкционных материалах и теплоносителе. Число захватов в топливе растет примерно на 7,29 1/р. Однако это не приводит к росту числа хорошо делящихся ядер, рождающихся в бланкете (здесь имеется в виду "чистое накопление", с учетом выгорания хорошо делящихся изотопов), поскольку при этом растет число захватов и делений в хорошо делящихся изотопах. В целом наблюдается некоторое снижение числа рождающихся делящихся ядер (примерно 6,2 ядер/р).

Таблица 3. Спектры нейтронов ($\tau \leq 10,5$ МэВ) для систем с водяным и свинцовым теплоносителями (%)

	H ₂ O	Pb ²⁰⁷
10,6—6,5 МэВ	0,303	0,151
6,5—4,0	0,674	0,292
4,0—2,5	1,35	0,765
2,5—1,4	2,96	1,38
1400—800 кэВ	3,55	3,07
800—400	4,89	8,90
400—200	4,30	17,30
200—100	4,76	29,00
100—46,5	4,31	25,10
46,5—21,5	4,58	9,83
21,5—10,0	6,68	3,49
10,0—4,65	3,88	0,591
4,65—2,15	4,02	0,152
2,15—1,0	3,82	
1000,0—465,0 эВ	3,79	
465,0—215,0	3,76	
215,0—100,0	3,63	
100,0—46,5	3,40	
46,5—21,5	3,39	
21,5—10,0	2,59	
10,0—4,65	2,60	
4,65—2,15	2,42	
2,15—1,0	2,12	
1,0—0,465	2,46	
0,465—0,215	2,26	
0,215·10 ⁻⁴	20,50	

Следует отметить некоторые особенности тепловыделения в бланкете, содержащем воду. Заметен некоторый спад тепловыделения за счет деления в области низких энергий ($\tau \leq 10,5$ МэВ). Изменение тепловыделения за счет деления в области высоких и низких энергий объясняется изменением структуры энергетического спектра нейтронов (см. табл. 3). В бланкете,

содержащем воду, значительно меньше нейтронов с энергией, превышающей порог деления U^{238} , что приводит к уменьшению числа делений ядер U^{238} (0,66 1/p). В то же время спектр смещается в область тепловых энергий, что приводит к росту числа делений U^{235} примерно на порядок.

Значительное увеличение тепловыделения за счет делений при $\tau \leq 10,5$ МэВ приводит к росту полного тепловыделения примерно в 2 раза. С одной стороны, этот рост тепловыделения имеет свои преимущества, т.к. существенно улучшается энергетический баланс электроядерной установки, но, с другой стороны, приводит к сильному росту энергонапряженности в blankets ($\sim 10,9$ МэВ/л).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа имеет оценочный характер, так как в ней не были учтены такие существенные эффекты, как влияние химической связи на тепловые сечения, зависимость сечений от энергии в тепловой области, особенности сечений некоторых элементов в тепловой области. Эти эффекты исследуются.

Авторы благодарят Барашенкова В.С., Кириллова П.Л. за внимание, проявленное к этой работе, и за обсуждение некоторых аспектов задачи.

Литература

1. Барашенков В.С., Соснин А.Н., Соснин В.Н., Шмаков С.Ю. — Выход нейтронов в делящихся мишенях, облучаемых высокоэнергетическими протонами. АЭ, 1988, т.64, вып.2, с.133—137.
2. Барашенков В.С., Соснин А.Н., Шмаков С.Ю. — Электроядерный размножитель нейтронов в установке со свинцовым теплоносителем. АЭ, 1992, т.72, вып.1, с.93—95.
3. Овчинников Ф.Я. и др. — Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1979, с.40.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 июня 1993 года.