

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА АКТИВАЦИИ МАТЕРИАЛА МИШЕНИ УСТАНОВКИ С ПОДКРИТИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ

П.Э. Переславцев, Д. Сахраи

Обнинский институт атомной энергетики, г. Обнинск



В статье представлен метод расчета активации материалов под действием частиц высоких энергий. Описанный комплекс современных компьютерных программ позволяет решать активационную задачу произвольной сложности вне зависимости от ядерной установки. Анализ наведенной активности проводится на основе современных ядерных данных, полученных из международных библиотек или рассчитанных с помощью программных комплексов. В работе приведены результаты тестовых расчетов. В качестве примера с помощью комплекса программ был проведен анализ накапливаемой активности в мишени подкритического реактора на основе протонного ускорителя.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время активно проводятся исследования ядерных установок, основанных на использовании ускорителей заряженных частиц. Наиболее хорошо проработанными являются проекты ускорителей протонов с энергией 0.6-1.6 ГэВ. Комбинация протонного ускорителя с током порядка десятков миллиампер и подкритического реактора может позволить создать проект ядерной установки с широким спектром возможных применений. Рассматриваются варианты энергетической установки, установки для утилизации долгоживущих ядерных отходов, а также установки, сочетающей оба подхода.

Создание подобных установок сопряжено с решением целого ряда проблем, с которыми не приходилось сталкиваться при эксплуатации коммерческих ядерных реакторов. Все эти проблемы обусловлены, прежде всего, наличием частиц высоких энергий. Исследования ядерных процессов при энергиях выше 20 МэВ начали активно проводиться сравнительно недавно. Поэтому разработка методов моделирования процессов ядерных превращений при энергиях частиц от 20 МэВ до 1 ГэВ является актуальной и необходимой.

Один из вариантов разрабатываемого в европейском сообществе проекта установки на основе протонного ускорителя (ЕАР-80) [1,2] подразумевает использование в качестве мишени расплава эвтектики свинец-висмут. Контур циркуляции вещества мишени не зависит от контура охлаждения подкритического реактора. В процессе эксплуатации такой установки в мишени будут накапливаться продукты ядерных превращений, концентрация которых может превысить допустимый безопасный уровень. Целью настоящей работы является разработка метода расчета накопления продуктов активации жидкой свинцово-висмутовой мишени подкритического реактора.

© П.Э. Переславцев, Д. Сахраи, 2001

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ

Программы для моделирования транспорта частиц

Транспорт высокоэнергетических частиц. Для моделирования переноса высокоэнергетических частиц (протонов и нейтронов) с энергией выше 20 МэВ была использована программа CASCADE/INPE [3]. Этот комплекс позволяет проводить моделирование транспорта частиц методом Монте-Карло. Основу программы составляют модели внутри- и межъядерного каскадов [4]. Оригинальная версия программы была существенно изменена в части моделирования процессов в многозонной гетерогенной геометрии установки. Это позволило максимально приблизить используемую в расчетах модель к параметрам проектной установки.

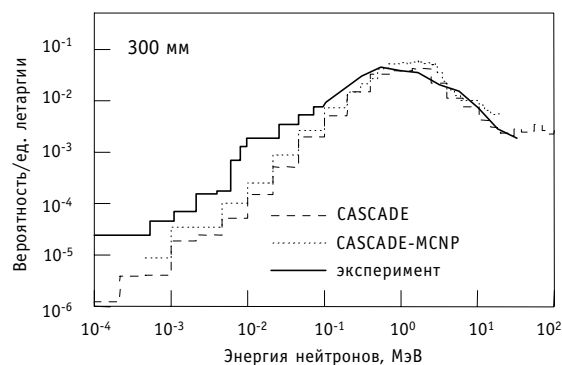
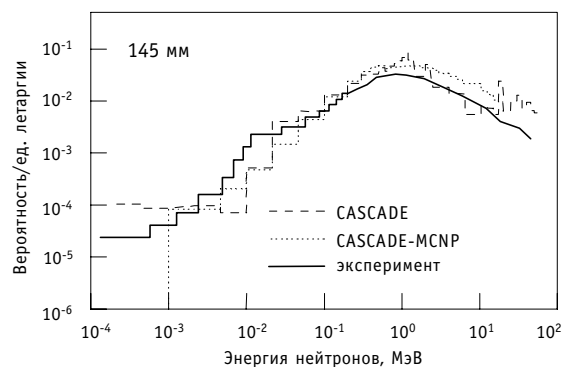
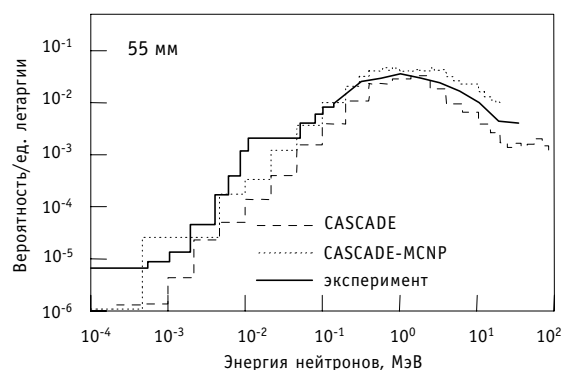


Рис. 1. Спектры нейтронов утечки с поверхности свинцовой мишени для различных положений детектора от переднего торца мишени

С помощью программы CASCADE/INPE были проведены тестовые расчеты спектров утечки нейтронов из цилиндрической свинцовой мишени диаметром 20 и длиной 60 см, облучаемой протонами с энергией 1 ГэВ. На рис. 1 приведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными [5].

К недостаткам программного комплекса CASCADE/INPE можно отнести использование приближенного метода расчета переноса низкоэнергетических частиц с помощью групповых констант БНАБ-78. 26-групповые нейтронные сечения ядерных реакций с максимальной энергией нейтронов 10.5 МэВ позволяют проследивать перенос нейтронов в различных материалах. Однако для поставленной задачи достигаемая точность расчета спектров нейтронов недостаточна. Это связано с особенностями ядерных превращений, протекающими в мишени подкритического реактора. Подробнее этот вопрос будет обсуждаться ниже.

Транспорт низкоэнергетических нейтронов. Для преодоления недостатков программы CASCADE/INPE моделирование переноса низкоэнергетических нейтронов осуществлялось с помощью программы MCNP/4C [6]. Эта программа позволяет проводить расчет транспорта нейтронов методом Монте-Карло на основе библиотек оцененных ядерных констант. В настоящей версии программы используются данные библиотеки

ENDF/B-VI с максимальной энергией нейтронов 20 МэВ. Объединение двух расчетных комплексов для моделирования переноса высоко- и низкоэнергетических частиц было проведено следующим образом. Истории нейтронов с энергией ниже 20 МэВ обрывались в программе CASCADE/INPE, и характеристики этих нейтронов записывались в промежуточный файл данных. Таким образом формировался пространственный источник нейтронов с энергиями ниже 20 МэВ. Эти данные затем были использованы как исходная информация для расчетов с помощью MCNP/4C.

Подобный, несколько громоздкий подход, позволяет проводить аккуратный расчет переноса нейтронов в материалах подкритического реактора. На рис. 1 представлены результаты расчетов спектров нейтронов утечки из свинцовой мишени с помощью описанного подхода. Видно, что полученные таким способом спектры нейтронов лучше согласуются с экспериментальными данными. Сравнительный анализ результатов, представленных на рис. 1, конечно, не может служить обоснованием преимуществ описываемого подхода. Тем не менее, такие косвенные тестовые расчеты позволяют сделать предположение, что моделирование переноса нейтронов в делящейся среде подкритического реактора с помощью программы MCNP/4C будет более аккуратным по сравнению с расчетом с помощью программы CASCADE/INPE.

Программа для расчета процессов активации материалов под облучением

Материал мишени подкритического реактора будет подвержен интенсивному облучению нейтронами, протонами. Для моделирования процессов ядерных превращений в материалах использовалась программа ORIGEN2 [7], которая была разработана для исследования поведения материалов в активных зонах реакторов деления. Специфика спектров нейтронов в таких реакторах (верхняя граница спектров 10.5 МэВ) позволяла рассматривать ограниченное число возможных ядерных реакций. Иными словами, рассматривались ядерные процессы, имеющие ненулевые сечения реакций в указанном диапазоне. Такой подход не может быть использован для расчетов процессов активации в рассматриваемом подкритическом реакторе, в котором верхняя граница энергий частиц лежит в области 1 ГэВ. Кроме того, программа ORIGEN2 не предполагала расчет процессов активации материалов под действием заряженных частиц.

Идеология программы ORIGEN2, в принципе, не накладывает ограничение на рассмотрение ядерных реакций, протекающих при энергиях выше 20 МэВ. Кроме того, программа использует модель ядерных превращений, не зависящую от типа ядерной реакции. Это позволяет проводить расчет активации под действием заряженных частиц. В архитектуру программы авторами была заложена возможность модификации с целью создания программы, способной решать активационные задачи произвольной сложности. В рассматриваемой задаче число возможных ядерных процессов велико. Например, число ядерных реакций, приведенных в библиотеке IFAF-2001 [8], составляет более 130000. Поэтому в программу ORIGEN2 были внесены необходимые изменения, позволяющие решать активационную задачу в подкритическом реакторе.

Исходные данные по сечениям ядерных реакций для программы ORIGEN2 были разделены на два класса: «стандартные» $((n,\gamma), (n,2n), (n,\alpha), (n,np), (n,\gamma)^*, (n,2n)^*)$ и «нестандартные» (т.е. все остальные реакции). Программа использует в расчетах подготовленные пользователем эффективные одnogрупповые константы. Для подготовки таких данных был разработан комплекс необходимых вспомогательных программ. Библиотека данных по радиоактивному распаду в программном комплексе ORIGEN2 содержит данные для 690 изотопов. Для проведения расчетов библиотека была значительно расширена на основе современных данных [9]. В настоящее время программа использует данные для 1800 изотопов (включая изомерные состояния ядер).

С помощью программы ORIGEN2 были проведены тестовые расчеты активации свинцовой мишени, облучаемой протонами с энергией 1 ГэВ [10]. Диаметр мишени 10.2 см, длина 61 см. Мишень состояла из 8 цилиндрических свинцовых образцов, разделенных свинцовой фольгой толщиной 0.021 см. После процесса облучения протонным пучком с интенсивностью $5.48 \cdot 10^9$ протон/с в течение 210 мин анализировалась наведенная активность свинцовых фольг.

В расчетах рассматривались процессы активации под действием как нейтронов, так и протонов. Используемые ядерные константы подробно описаны в следующем разделе. Спектры нейтронов и протонов были получены с помощью программ CASCADE-INPE и MCNP/4C. На рис.2 представлено сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными [10], полученными для фольги, расположенной в 5 см от переднего торца мишени. Для сравнения приведены результаты расчетов, полученные в Лос-Аламосе [10]. Анализ проведен по накоплению 54 нуклидов. Число отклонений выходов изотопов, отличающихся от экспериментальных данных в 2 раза, полученное в настоящей работе, составляет 46% (в расчетах Лос-Аламоса – 45% для 42 нуклидов). Видно, что при одинаковой точности в настоящей работе учитывалось образование большего числа нуклидов. Кроме того, расчет спектров и активации в Лос-Аламосе был проведен для слоя свинца толщиной 1 см, тогда как настоящие результаты были получены для слоя толщиной 0.021 см. Такая толщина слоя требует проведения расчетов спектров частиц с очень высокой статистикой. Тот факт, что большинство полученных выходов изотопов меньше экспериментальных данных, говорит о недостаточной статистике при проведении сравнения. Наличие выходов ядер, для которых отношение экспериментальных и расчетных данных превышает 32 [10], объясняется тем, что исходные данные не содержали сечения реакций, протекающих на ядрах стабильных изотопов свинца, приводящих к образованию этих ядер.

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что результаты расчетов с помощью модифицированной программы ORIGEN2 хорошо согласуются с экспериментальными данными. Важно отметить, что расчеты выходов радионуклидов были проведены как для нейтронного, так и протонного облучений. Расчетные данные лаборатории Лос-Аламоса были получены только из анализа нейтронного облучения. По-видимому, для компенсации расхождений с экспериментальными данными авторы [10] были вынуждены увеличить толщину исследуемого слоя до 10 см вместо реальной толщины фольги, равной 0.021 см.

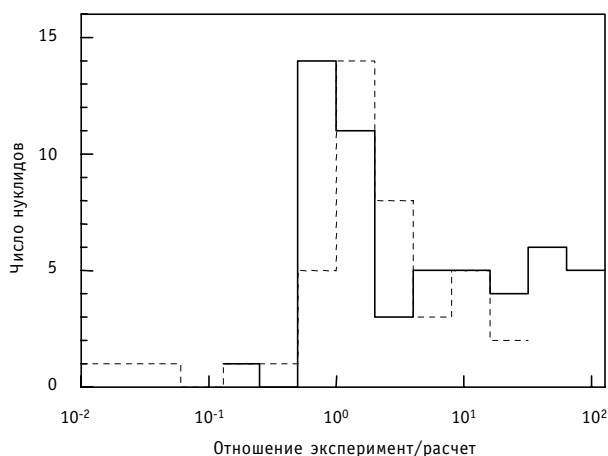


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных данных по выходам отдельных нуклидов: ————— результаты настоящей работы; — — — расчет LANL [10]

ЯДЕРНЫЕ ДАННЫЕ

Как было отмечено, данные о сечениях ядерных реакций являются одним из критических вопросов при решении активационных задач. В связи с тем, что верхний предел энергий нейтронов и протонов составляет 600-1600 МэВ, сечения ядерных реакций должны охватывать весь диапазон энергий от 0 до 1600 МэВ.

Нейтронные данные

Для расчета процессов активации под действием нейтронов была использована библиотека нейтронных данных IEAF-2001 [8] (Intermediate Energy Activation File), созданная в рамках международного проекта по созданию реактора синтеза. Библиотека состоит из 679 независимых файлов для ядер-мишеней с $Z=1\div84$. В файлах представлены данные о сечениях реакций, приводящих к образованию различных ядер включая нестабильные и находящиеся в возбужденном состоянии (изомеры). Максимальная энергия нейтронов 150 МэВ. При энергиях нейтронов ниже 20 МэВ данные библиотеки EAF-99 (European Activation File [11]) были включены в IEAF-2001. Кроме того, в библиотеку включены файлы данных для реакций, происходящих на ядрах-изомерах.

Для расчета сечений ядерных реакций при энергиях выше 150 МэВ использовалась новая программа, написанная Зильбербергом и Цао [12], в основе которой лежат полуэмпирические формулы. Хотя авторы подчеркивают приближенный характер результатов, получаемых с помощью этой программы, их согласие с экспериментальными данными удовлетворительно и достаточно для проведения активационного анализа [13]. С помощью указанной программы проводились расчеты только для тех реакций, которые представлены в библиотеке IEAF-2001. Процессы деления ядер мишени не рассматривались в расчетах, т.к. порог деления на ядрах свинца и висмута составляет ~100 МэВ. Доля нейтронов с энергиями, превышающими 100 МэВ, в мишени очень мала (рис. 5).

Протонные данные

Сечения реакций, протекающих под действием протонов с энергией до 100 МэВ, были получены с помощью программы CASCADE/INPE, основанной на теории внутриядерного каскада. При расчете сечений учитывались процессы деления ядер под действием протонов. При энергиях выше 100 МэВ сечения реакций были получены с помощью приближенных формул [12]. Протонные данные были получены для ядер с $Z=79\div84$.

Сечения реакций захвата протона (p,γ) были получены на основе экспериментальных данных [15]. Экспериментальные данные, представленные на рис. 3, были использованы для оценки сечений (p,g) ядер с $Z=79\div84$.

РАСЧЕТ АКТИВАЦИИ МАТЕРИАЛА МИШЕНИ ПОДКРИТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

В расчетах активации мишени подкритического реактора были использованы параметры установки [1,2] на основе протонного ускорителя. Энергия первичного пучка протонов составляла 600 МэВ при токе пучка 3 мА. Схема установки представлена на рис. 4. Весь реактор (кроме вакуумной трубы ускорителя 2 на рис.4) заполнен расплавленной эвтектикой свинец-висмут (45.5% Pb и 54.5% Bi). В рассматриваемом варианте контуры циркуляции теплоносителя в активной зоне 3 и мишени 1 разделены.

Активная зона реактора набрана из топливных сборок с топливом, соответствующим топливной композиции реактора SuperFenix. Состав топливной композиции в активной зоне реактора подробно описан в [2]. В рассматриваемом варианте состав топливной композиции следующий: UO_2 – 77.8501%, PuO_2 – 21.6%, AmO_2 – 0.5453% и NpO_2 – 0.0046%. Геометрия реактора и зоны пустых сборок (4) рассмотрены в работе [2]. Конструктивные особенности мишени описаны в работе [14]. В расчетах предполагалось, что материал мишени реактора подвергается облучению в течение года. Масса Pb-

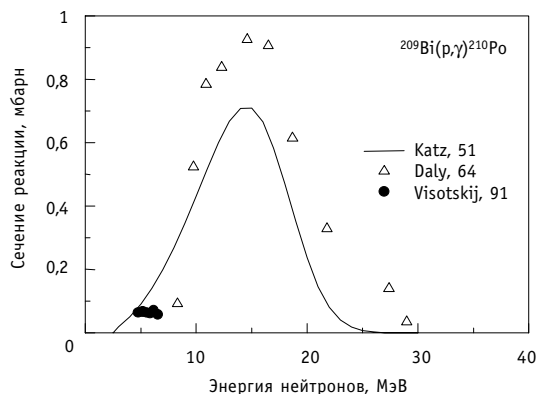
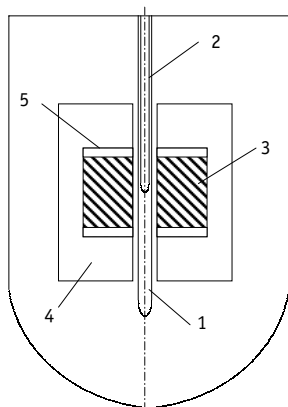
Рис. 3. Сечение реакции $^{209}\text{Bi}(p,\gamma)^{210}\text{Po}$ 

Рис. 4. Схема подкритического реактора EAP-80: 1 – мишень (Pb-Bi), 2 – вакуумная труба ускорителя, 3 – активная зона, 4 – зона пустых сборок, 5 – элементы крепления топливных сборок; объем реактора заполнен эвтектикой Pb-Bi

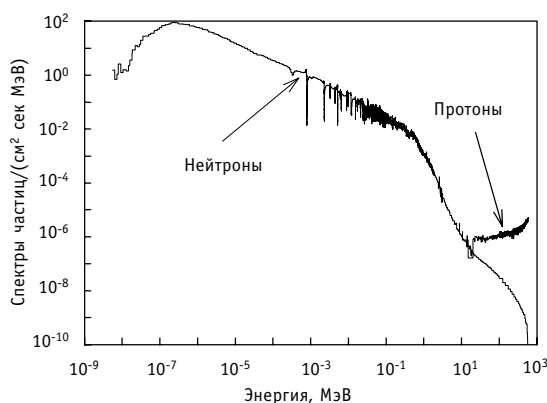


Рис. 5. Спектры частиц в мишени установки EAP-80. Спектры нормированы на один первичный протон пучка

Bi эвтектики в мишени составляет ~13,5 т.

Расчет спектров нейтронов и протонов был проведен с помощью программ CASCADE-INPE и MCNP/4C, как описано выше. Спектры были усреднены по объему свинца-висмута в мишени (рис. 5). Важно отметить, что для рассматриваемой установки накопление одного из наиболее опасных изотопов ^{210}Po ($T_{1/2} \approx 138$ дней) является одним из важнейших параметров, определяющих степень экологической приемлемости данного проекта. Основной канал наработки этого изотопа – реакция $^{209}\text{Bi}(n,\gamma)^{210}\text{Bi}$ с последую-

щим распадом $^{210}\text{Bi} \xrightarrow{\beta^-} ^{210}\text{Po}$ ($T_{1/2} \approx 5$ дней). Сечение реакции $^{209}\text{Bi}(n,\gamma)^{210}\text{Bi}$ имеет резонансную область. Тщательное описание этой области имеет важное значение для окончательного результата, поэтому в расчетах использовалось большое число энергетических групп нейтронов, а именно, 11500. Количество групп связано с тем, что число энергетических точек в файле для ^{209}Bi библиотеки IAEA-2001 для указанной реакции равно ~11500. Необходимость такого подробного описания сечения реакции радиационного захвата связана с тем, что накопление ^{210}Po напрямую зависит от количества используемых энергетических групп.

Полученные спектры частиц были использованы для расчета усредненных по спектрам сечений ядерных реакций. Расчет накопления различных изотопов был проведен с помощью модифицированной программы ORIGEN2 для момента окончания облучения. Результаты расчетов для нейтронного облучения показаны в табл. 1, где представлены данные для нуклидов с $T_{1/2} > 80$ дней, масса которых превышает 1 грамм. Накопление продуктов активации в результате протонного облучения материала мишени представлено в табл. 2.

Таблица 1

**Накопление наиболее опасных нуклидов
в результате нейтронного облучения**

Нуклид	Масса, грамм	Активность, Ки	Индекс токсичности
80 дней < T _{1/2} < 1 год			
²¹⁰ Po	1.332·10 ²	5.987·10 ⁵	1.007·10 ¹²
10 лет < T _{1/2} < 100 лет			
²⁰⁷ Pb	9.804·10 ⁰	5.335·10 ²	1.558·10 ⁶
100 лет < T _{1/2}			
²⁰² Pb	3.069·10 ⁰	1.033·10 ⁻¹	2.123·10 ³
²⁰⁵ Pb	1.208·10 ²	1.386·10 ⁻²	1.047·10 ¹

Таблица 2

**Накопление наиболее опасных нуклидов
в результате протонного облучения**

Нуклид	Масса, грамм	Активность, Ки	Индекс токсичности
80 дней < T _{1/2} < 1 год			
¹⁹⁵ Au	8.182·10 ¹	2.945·10 ⁵	7.264·10 ⁸
1 год < T _{1/2} < 10 лет			
²⁰⁴ Tl	1.319·10 ²	6.101·10 ⁴	2.822·10 ⁷
10 лет < T _{1/2} < 100 лет			
¹⁹³ Pt	2.981·10 ¹	1.090·10 ³	4.636·10 ⁴
²⁰⁷ Pb	6.664·10 ²	3.626·10 ⁴	1.032·10 ⁸
100 лет < T _{1/2}			
⁷⁹ Se	1.084·10 ⁰	7.550·10 ⁻²	1.397·10 ²
⁹³ Zr	2.372·10 ⁰	5.962·10 ⁻³	1.103·10 ²
⁹⁴ Nb	3.882·10 ⁰	7.390·10 ⁻¹	4.971·10 ⁴
¹⁹⁴ Hg	1.090·10 ²	3.868·10 ²	1.431·10 ⁷
²⁰² Pb	1.034·10 ³	3.481·10 ¹	7.155·10 ⁵
²⁰⁵ Pb	1.247·10 ³	1.431·10 ⁻¹	1.081·10 ²

В последней колонке в табл. 1 и 2 указан индекс токсичности для каждого радионуклида. Это индекс был получен как отношение полученной активности изотопа к предельно допустимой поглощенной дозе для данного изотопа.

Как видно из табл. 1, наиболее опасным нуклидом является изотоп ²¹⁰Po. Именно накопление этого изотопа определяет токсичность материала мишени. В результате протонного облучения образуется изотоп ¹⁹⁵Au (T_{1/2}≈183 дня) со сравнимой активностью, но меньшей токсичностью. Эти два нуклида будут определять активность материала мишени в течение нескольких лет после облучения. Основной канал наработки ²¹⁰Po в результате протонного облучения – это реакция ²⁰⁹Pb(p,γ)²¹⁰Po. Однако сечение этой реакции имеет максимум в районе 15 МэВ (рис. 3) и пренебрежимо мало уже при 30 МэВ. Поэтому накопление ²¹⁰Po в случае протонного облучения мало по сравнению с облучением нейтронами. Интересной особенностью результата протонного облучения является накопление значительного количества долгоживущих изотопов ртути и свинца. Присутствие этих изотопов будет определять долговременную активность материала мишени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет активации материалов, облучаемых частицами с широким спектром энергий, является сложной многоступенчатой задачей. К факторам, усложняющим решение этой задачи, можно отнести:

- необходимость расчета переноса частиц с энергиями от 0 до сотен МэВ;
- отсутствие единых наборов данных для нейтронных и протонных ядерных констант в указанном диапазоне энергий;
- отсутствие программы, способной решать активационную задачу с учетом большого количества различных ядерных реакций и образующихся радионуклидов.

Для решения указанных проблем был использован метод расчета транспорта частиц с помощью программ CASCADE/INPE и MCNP/4C. Ядерные константы для расчетов были взяты из новой библиотеки IAEA-2001 и рассчитаны с помощью программы CASCADE/INPE и полуэмпирических формул. Указанный подход был протестирован при сравнении с имеющимися экспериментальными данными. Хорошее согласие с экспериментом позволяет говорить о правильности выбранного подхода. Расчет активности мишени был проведен с помощью хорошо известной программы ORIGEN2, в которую были внесены необходимые изменения. Модифицированная программа в комплексе с необходимыми вспомогательными подпрограммами позволяет исследовать активационную задачу произвольной сложности как в случае нейтронного, так и протонного облучения. Разработанный комплекс программ был использован для исследования тестовой задачи. Полученное согласие с экспериментальными данными позволило использовать описанную процедуру для расчета активации мишени подкритического реактора.

На основе анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее опасным изотопом, нарабатываемом в мишени установки, является изотоп ^{210}Po . Этот изотоп накапливается в основном в результате нейтронного облучения материала мишени. Долговременная активность материала мишени образуется в основном в результате протонного облучения.

Литература

1. Atzeni S. Preliminary Neutronics Analysis of the Energy Amplifier Prototype (EAP-80), Report of CERN, EA D2.02 4 407, July 1998
2. Переславцев П.Э., Сахраи Д. Вычисление нейтронных характеристик реактора EAP-80// Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2001. - №2. – С. 73.
3. Конобеев А.Ю., Коровин Ю.А., Переславцев П.Э., Артюсюк В.В., Саито М. Расчет физических характеристик свинцовой мишени, облучаемой протонами высоких энергий // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 1998. - №4. – С. 44.
4. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействие высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. - М.: Атомиздат, 1972.
5. Бахмуткин С.В. и др. Энергетические спектры нейтронов на поверхности цилиндрической свинцовой мишени, облучаемой протонами энергией 1 ГэВ// Атомная энергия. – 1987. – Т. 62. - Вып. 1. – С. 59.
6. Hendricks J.S. MCNP/4C, X-5, JSH-2000-30 (U), February 2000, LANL, Los Alamos, New Mexico.
7. Croff A.G. ORIGEN2: A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Composition and Characteristics of Nuclear Materials//Nucl. Tech. – 1980. - № 62. – P. 335.
8. Korovin Yu.A., Konobeyev A.Yu., Pereslavl'tsev P.E., et al Data Library IAEA-2001 to Study of Activation of Irradiated Materials: Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Science and Technology, Tsukuba, Japan, Oct. 7-12, 2001.
9. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Радиоактивные цепочки. Справочник. -М.: Энергоатомиздат, 1988.
10. Laird C.E., et al. Activation by Protons in Range-Thick Lead and Tungsten Spallation Targets// Nucl. Sci. Eng. – 1998. - 130, 320.

11. *Sublet J.-Ch., Kopecky J., Forrest R.A.* The European Activation File: EAF-99 cross section library, Document UKAEA FUS 408, EUROATOM/UKAEA Fusion, December 1998
12. *Silberberg R., Tsao C.H.* Appl. Journ. July 10, 501 (1998)
13. *Коровин Ю.А., Конобеев А.Ю., Переславцев П.Э.* Расчет сечений реакций для изотопов циркония под действием протонов промежуточных и высоких энергий//ВАНТ. Сер.: Ядерные константы. – 1994. – Вып. 1. – Р. 81.
14. *Переславцев П.Э., Сахраи Д.* Расчет радиационных повреждений в мишени установки ЕАР-80// Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2001. - №1. – С. 74.
15. *Ситенко А.* Теория ядерных реакций. - М.: Энергоатомиздат, 1983.

Поступила в редакцию 20.10.2001

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.526

Physical Parameters of Self-Protection as Guarantees Maintenance of Limiting Power in Perspective Fast Sodium Reactor \A.V. Danilytchev, D.G. Elistratov, V.Ju.Stogov, T.M.Burenkova; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 16 pages, 3 tables, 9 illustrations. – References, 12 titles

The restrictions on limiting power caused by specific distribution of reactivity components of a feedback for the core with basic dimensions of a BN-1600 type reactor are analyzed. The influence of this components on large sodium reactor self-protection to accidents, determining its safety, is considered. The most dangerous accident is indicated. Spatial distribution of Doppler-effect allowing to come nearer to postulated power is investigated for this accident.

УДК 621.039.54

ADS fuel cycle complemented with DUPIC-technology for achieving high fuel burn-up \G.G. Kulikov, A.N. Shmelev; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 9 pages, 1 table, 3 illustrations. – References, 11 titles

Application of DUPIC-technology for ADS fuel cycle to achieve high fuel burn-up is studied. It is shown that in ADS facility blanket cooled with heavy liquid metal it can be achieved 30 - 40%HM fuel burn-up in slightly sub-critical regime of operation with deterministic safety.

УДК 539.1

Development of the method for calculation of the subcritical reactor target activation \P. Pereslavytsev, D. Sakhray; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 9 pages, 2 tables, 5 illustrations. – References, 15 titles

The activation analysis method of the materials irradiated by high energy particles is presented in the paper. Modern computer codes discussed enable to solve an activation problem of arbitrary complicity regardless of the nuclear facility. The analysis of the activity accumulated was performed on the basis of the present-day nuclear data extracted from international libraries and calculated with the help of the computer codes. Results of the codes validations are presented in the paper. As an example, the analysis of the activity, accumulated in the target of the subcritical reactor, is presented.

УДК 502.3

Decision-Making Support on Risk Based Land Management and Rehabilitation of Radioactive Contaminated Territories \B.I. Yatsalo; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 4 pages. – References, 6 titles

The general questions of decision-making support on Risk Based Land Management (RBLM), including key factors and components, range of existing decision support and analytical tools and techniques are considered. The characteristics and possibilities of the applied Decision Support System PRANA as a tool for decision support on RBLM and sustainable rehabilitation of radioactive contaminated territories are briefly described.