

УДК 541.135+669.5.822

## Потенциостатическое и импульсно-потенциостатическое электроосаждение урана на жидком цинке с растворимым анодом

ГОЛЬДШТЕЙН С. Л., ЗАХАРЬЯШ С. М., РАКИПОВ Д. Ф., РАСПОПИН С. П.

Изучено потенциостатическое и импульсно-потенциостатическое электроосаждение урана из расплава  $KCl - NaCl$  (4,3 мас. %  $UCl_5$ ) на жидком цинковом катоде ( $m_k \approx 1$  и 5 г,  $S_k \approx 0,75$  и  $1,68$  см<sup>2</sup> соответственно) при 700 °С с растворимым анодом в атмосфере аргона. Электрод сравнения — хлорный полуэлемент.

Потенциодинамическими измерениями ( $\sim 0,2$  В/с) экспрессно определена область потенциалов (2,30—2,37 В) оптимального потенциостатирования.

Потенциостатический электролиз с заменой и последующим химическим анализом катода для каждого значения  $\varphi_3$  позволил не только подтвердить, но и идентифицировать характерные области с конкретными электрохимическими процессами. Так, при  $\varphi_3 < -2,20$  В возможно восстановление электроположительных примесей (прокорродировавший цинк). В рабочей области потенциалов (2,25—2,37 В) становится возможным приготовление прецизионных цинк-урановых сплавов в близком соответствии с термодинамической функцией «потенциал — состав». Снижение эффективности осаждения урана при  $\varphi_3 < -2,37$  В связано

с протеканием конкурирующего разряда ионов щелочных металлов.

По результатам анализа потенциостатических кривых затухания тока, снятых для различных высот  $l$  жидкого катода (температурный градиент по высоте 1 °С/см), сделано предположение об изменении режима массопереноса урана в цинке. Установлено, что при малых размерах катода превалирует молекулярный (атомарный) механизм, а при  $l > 10$  мм следует учитывать влияние конвекции.

Интенсификация процесса осаждения урана на жидком цинке осуществляется путем импульсно-потенциостатического режима (частота пульсаций 0,5 Гц, скважность 1,1), позволяющего улучшить основные технологические показатели (выход по току составил 94% по сравнению с 80% при «обычном» потенциостатировании).

(№ 893/8667. Статья поступила в Редакцию 20/II 1976 г. аннотация — 31/V 1976 г. Полный текст 0,3 а. л., рис. 3, табл. 1, список литературы 11 наименований).

УДК 621.039.78

## Оптимизация защитных контейнеров для изотопных источников нейтронов

КАЗАЧЕНКОВ Ю. Н., СУВОРОВ А. П., ФЕДОРЕНКО Р. П.

В настоящей работе определялись оптимальные варианты одномерной гетерогенной сферической защиты.

Для получения оптимальных защитных композиций применялся метод последовательных приближений с использованием линейной теории малых возмущений. Учет различных ограничений на параметры и функционалы задачи проводился с применением принципов неклассического вариационного исчисления. Распространение нейтронов описывалось в пятигрупповом  $P_1$ -приближении. Ослабление  $\gamma$ -квантов источника — в четырехгрупповом приближении экспоненциальным ядром с геометрическим степенным фактором накопления. Аналогично рассчитывались и вторичные  $\gamma$ -кванты. Такая методика использовалась в работе [1] для расчета одномерных композиций защиты.

Исследовалась гетерогенная защита из железа, свинца, парафина и карбида бора, почти во всех случаях в эти вещества добавлялся карбид бора (не более 5 об. %). В качестве внешнего слоя брали 1 см железа (для прочности), которое одновременно служило и для защиты (в основном от  $\gamma$ -квантов).

Определялись варианты защиты, обладающие минимальной дозой при заданной дозе на поверхности кон-

тейнера  $D = 10$ ; 200 мР/ч по второй и третьей транспортной категории соответственно для калифорниевых и ( $\alpha$ ,  $n$ )-источников нейтронов с выходом  $10^9 - 5 \cdot 10$  нейтр./с. Спектры изотопных источников нейтронов взяты из работ [2, 3]. Установлено, что масса оптимальных контейнеров может быть иногда в несколько раз меньше, чем неоптимальных.

Характерной особенностью всех оптимальных композиций является то, что в первом внутреннем слое должен быть тяжелый компонент Pb, Fe, а затем следовать легкий компонент  $CH_2$ . Если первый — свинец, а не железо, то получается значительный выигрыш в массе. Соотношение между тяжелым и легким компонентами по сравнению с результатами работы, полученными для одномерной защиты [1], сильно изменилось в сторону тяжелого компонента. Это объясняется тем, что в настоящей работе расчет проводился для сферической геометрии, а в [1] — для плоской.

Добавление  $B_4C$  в малом количестве очень слабо влияет на минимальную массу. Это было проверено расчетом, когда каждый из слоев, кроме наружного, состоял из гомогенной смеси Pb, Fe,  $B_4C$ ,  $CH_2$ . И в этом случае химический состав слоев и их чередование для оптимальной композиции не изменились, так что

наиболее оптимальной можно считать композицию Pb — CH<sub>2</sub> — Fe (1 см).

(№ 894/8736. Поступила в Редакцию 5/IV 1976 г. Полный текст 0,45 а. л., табл. 2, список литературы 6 наименований).

УДК 621.039.514.25

## Оптимальный режим эксплуатации исследовательского реактора

ГЕРАСИМОВ А. С.

В статье рассматривается задача оптимизации циклического режима работы исследовательского реактора с учетом ксенонового отравления. Продолжительность каждого периода 24 ч, в начале его в течение заданного времени  $\tau$  мощность реактора  $U(t)$  равна нулю (плановая стоянка). В остальное время (рабочий режим)  $U(t)$  есть функция времени, и концентрация ксенона не должна превышать заданной величины, связанной с запасом реактивности на отравление. Требуется так изменять мощность в рабочем режиме, чтобы полное энерговыделение за цикл было максимальным.

При решении задачи использован принцип максимума Понтрягина. Особенность данной задачи по сравнению с другими, ранее рассмотренными ксеноновыми оптимизационными задачами состоит в том, что оптимизируется циклический режим работы. В связи с этим состояние реактора в начале рабочего режима является существенно нестационарным и, кроме того, возникает связь конечного и начального состояний рабочего режима (обратная связь), что приводит к специфическим условиям трансверсальности на сопряженные функции.

В зависимости от конкретных свойств реактора, периода  $T$ , времени остановки  $\tau$  оптимальный рабочий режим является либо трехфазным:

$$U(t) = U_{\text{макс}}, \quad \tau \leq t \leq t_1; \quad U(t) = U_{\text{кл}}(t),$$

УДК 621.039.51

## Об условиях электронного равновесия при внутрореакторном облучении гетерогенных объектов

БРИСКМАН Б. А., САВИНА В. П., ПОПОВА Л. В., БОНДАРЕВ В. Д.

Цель настоящей работы — изучение перераспределения поглощенной энергии  $\gamma$ -квантов реакторного излучения за счет ее переноса выбитыми электронами в системе, состоящей из нескольких элементов. В качестве расчетной модели рассматривалась система из трех коаксиальных бесконечных цилиндров. Внешний цилиндр ( $d_{\text{вн}} = 33$  мм,  $\delta = 2,5$  мм) выполнен из алюминия, внутренний сплошной цилиндр ( $d = 5$  мм) — из магния. Промежуточный цилиндр ( $d_{\text{пн}} = 16$  мм,  $\delta = 1$  мм) изготавливался из Zn, Zr, Sn, Pb. Расчеты проводились для трех типов спектров реакторного  $\gamma$ -излучения, полученных методом Монте-Карло для легководного реактора в отражателе ( $\Phi_{\gamma 1}$  и  $\Phi_{\gamma 2}$ ) и в

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суворов А. П., Федоренко Р. П. В сб.: Вопросы физики защиты реакторов. Вып. 3, М., Атомиздат, 1969, с. 6.
2. Тюфяков Н. Д. и др. В сб.: Радиационная техника. Вып. 5, М., Атомиздат, 1970, с. 90.
3. Тюфяков Н. Д. и др. В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия. Вып. 1, М., Атомиздат, 1970, с. 24.

$$t_1 \leq t \leq t_2;$$

$$U(t) = U_{\text{макс}}, \quad t_2 \leq t \leq T,$$

либо четырехфазным:

$$U(t) = U_{\text{макс}}, \quad \tau \leq t \leq t_1; \quad U(t) = U_{\text{кл}}(t), \quad t_1 \leq t \leq t_2;$$

$$U(t) = U_R(t), \quad t_2 \leq t \leq t_3; \quad U(t) = U_{\text{макс}}, \quad t_3 \leq t \leq T,$$

где  $U_{\text{макс}}$  — максимальная мощность;  $U_{\text{кл}}$  — мощность, соответствующая так называемому классическому режиму;  $U_R$  — мощность, при которой концентрация ксенона равна максимально допустимой величине. Трехфазный режим реализуется в случаях, когда продолжительность рабочего режима  $T - \tau$  относительно невелика и концентрация ксенона не выходит на ограничение. При больших временах рабочего режима оптимальным является четырехфазный режим. Как показывает численный расчет для конкретных примеров, энерговыделение в оптимальном режиме примерно вдвое превышает энерговыделение в простом циклическом режиме без оптимизации.

(№ 898/8844. Поступила в Редакцию 21/VI 1976 г. Полный текст 0,5 а. л.; рис. 3, табл. 1, список литературы 8 наименований).

активной зоне ( $\Phi_{\gamma 3}$ ). Перераспределение поглощенной энергии  $\gamma$ -излучения в системе из  $n$  элементов рассчитывалось по формуле

$$G_m P_m = \sum_i P_{\gamma i m} \left( 1 - \sum_n F_{i m \Phi m n} \right) G_m + \sum_n \sum_i P_{\gamma i n} \Phi_{n m} F_{i n} G_n,$$

где  $G_{m,n} P_{\gamma i m,n}$  — поглощенная энергия в  $m$ -,  $n$ -м элементе от  $i$ -й группы энергетического спектра  $\gamma$ -излучения, соответствующая условию электронного равновесия в системе;  $G_m P_m$  — поглощенная энергия в  $m$ -м элементе, отвечающая конечному распределению;