

УДК 543.53

## Некоторые аспекты использования низкотемпературного облучения в нейтронно-активационном анализе биологических материалов

МОСУЛИШВИЛИ Л. М., КУЧАВА Н. Е.

В процессе облучения в каналах реактора биологические образцы подвергаются радиационному воздействию нейтронов и  $\gamma$ -квантов. За счет поглощения энергии ядерных частиц и  $\gamma$ -квантов повышается температура образцов, что способствует потере некоторых так называемых летучих химических элементов (бром, йод, мышьяк, ртуть и др.), входящих в состав биологических материалов. По этой причине результаты активационного анализа биологических образцов по летучим элементам могут быть достоверными только при правильном выборе условий облучения.

Впервые о нагреве биологических образцов в процессе их облучения в зоне реактора при плотности потока нейтронов  $\sim 2 \cdot 10^{12}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  сообщается в работе [1]. Было показано, что в процессе облучения жидких биологических образцов их температура может достигать  $\sim 60^\circ \text{C}$ . В работе [2] рассматривалась возможность охлаждения жидких биологических образцов сухим льдом. Облучая образцы при плотности потока нейтронов  $\sim 2 \cdot 10^{12}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ , удалось продлить время облучения до 13 ч. В работе [3] предложена специальная система полиэтиленовых контейнеров с биологическими образцами, окруженными толстым слоем сухого льда, для облучения нейтронами. Эти технические приемы позволяли проводить низкотемпературное облучение жидких биологических образцов при сравнительно низкой плотности потока нейтронов  $\sim 10^{12}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ . Для плотности потока  $\sim 10^{13}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  в работе [4] предложено облучать биологические образцы непосредственно в гелиевом криостате, что обеспечивало низко-

температурное облучение биологических образцов при плотности потока нейтронов  $2 \cdot 10^{13}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  в течение 5 ч. Такие технические приемы были использованы для предотвращения потерь летучих элементов в процессе нейтронного облучения биологических образцов. Ясно, что предложенные способы охлаждения недостаточны для длительного низкотемпературного облучения биологических образцов с использованием сравнительно высокой плотности потоков нейтронов [ $> 5 \times 10^{13}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ ]. В работе [5] проблема охлаждения биологических образцов в процессе облучения интенсивными потоками нейтронов ядерного реактора решена с использованием циркулирующего в замкнутой системе газообразного гелия, охлажденного до температуры жидкого азота.

В настоящей работе дан подробный анализ отдельных этапов низкотемпературного облучения биологических образцов, используемых в серийных исследованиях биологических материалов методом инструментального нейтронно-активационного анализа, проводимых на реакторе ИРТ-М в Институте физики АН ГССР с 1970 г. Справедливо было бы поставить вопрос: какова может быть температура радиационного нагрева биологических образцов в процессе облучения? Как показали наши опыты, эта температура при плотности потока нейтронов  $\sim 5 \cdot 10^{13}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  достигает  $\sim 300^\circ \text{C}$ . На рис. 1 представлены результаты измерения температуры в одном из вертикальных каналов реактора при заданной конструкции транспортного контейнера с биологическими образцами (сухая кровь). Температуру измеряли в двух точках транспортного контейнера — в геометрическом центре цилиндра и на наружной поверхности — при помощи медь-константановых термпар. Как видно из рисунка, существует градиент температуры, направленный от центра к поверхности

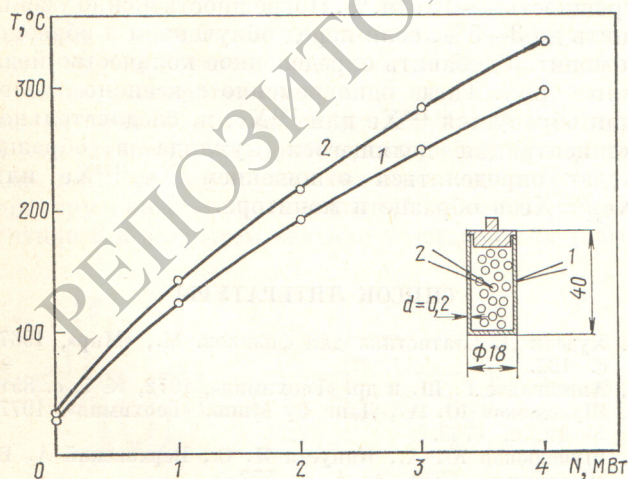


Рис. 1. Зависимость температуры радиационного нагрева биологических образцов от тепловой мощности ядерного реактора ИРТ-М на поверхности (1) и в центре (2) контейнера (○ — эксперимент)

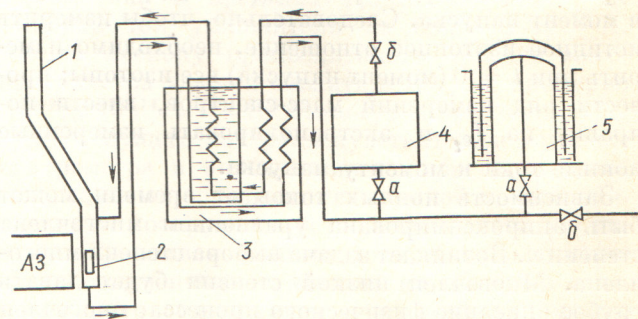


Рис. 2. Основные узлы вертикальной низкотемпературной системы для охлаждения биологических образцов во время их облучения: 1 — загрузочный канал; 2 — образец; 3 — теплообменник; 4 — компрессор; 5 — газгольдер; а, б — вентили низкого и высокого давления



транспортного контейнера с образцами. Температурный сдвиг в среднем  $\sim 35^\circ\text{C}$  при мощности 3 МВт.

На рис. 2 представлены схематические системы для охлаждения биологических образцов, помещенных в активной зоне реактора. Технические параметры указанной системы таковы: рабочий диаметр канала составляет 20 мм, длина 8000 мм, зона охлаждения 600 мм, при мощности 5 МВт расход газообразного гелия  $50\text{ м}^3/\text{ч}$ , расход жидкого азота  $60\text{ л/ч}$ . При данном цикле работы реактора постоянно поддерживается разность давления  $(0,2 \div 0,3) \cdot 10^5\text{ Па}$ . На рис. 3 показано, как зависит температура биологических материалов от режима облучения в холодном канале. Загрузку контейнера с образцами в канале проводили при «нулевой мощности» реактора без циркуляции гелия. За этот период происходит небольшое увеличение температуры образцов (на рис. 3 интервал времени I). Далее начинается циркуляция газообразного гелия и температура начинает быстро понижаться (зона II). Через 25—30 мин после начала циркуляции холодного гелия происходит быстрое снижение температуры образцов (зона III). Зона IV соответствует равновесной температуре образцов при мощности 1 МВт. Показанные на рис. 3 зоны V—VIII соответствуют мощности реактора 2, 3, 4 и 5 МВт соответственно. В зоне IX показано резкое снижение температуры образцов после перевода реактора в «нулевую мощность». Зона X соответствует циркуляции газообразного гелия без охлаждения. Цикл облучения заканчивается перегрузкой образцов из активной зоны реактора. Как видно из рис. 3, с увеличением мощности реактора при постоянном заданном расходе газообразного гелия увеличивается и температура облучаемых биологических образцов, достигая  $\sim 170\text{ K}$  при мощности реактора 5 МВт. Ясно, что при облучении биологических образцов в температурном интервале от 80 до 170 K практически исключается возможность улетучивания химических элементов. Такая низкотемпературная установка позволяет поддер-

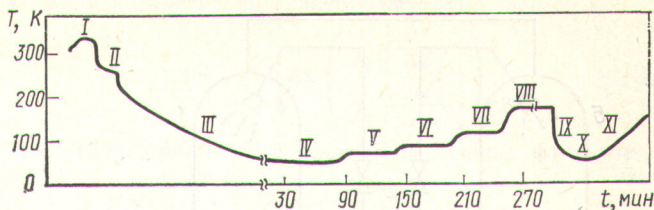


Рис. 3. Зависимость температурного режима от мощности ядерного реактора

живать заранее заданный температурный интервал облучения биологических образцов при различной мощности реактора путем изменения скорости циркулирующего охлажденного газообразного гелия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brune D., Samsahl K., Wester P. «Clin. Chim. Acta», 1966, v. 13, № 3, p. 285.
2. Brune D., Jirlow K. «Radiochim. Acta», 1967, v. 8, p. 161.
3. Brune D. Modern Trends in Activation Analysis. U.S. Government Printing Office Washington D. C., 1969, p. 203.
4. Brune D., Wenzl H. «Anal. Chem.», 1970, v. 42, N 4, p. 511.
5. Андроникашвили Э. Л. и др. В кн.: II Совещание по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, изд. ОИЯИ, 1976, с. 127.

Поступило в Редакцию 12.03.79

УДК 621.039.586

## Борное регулирование ВВЭР при работе с переменными нагрузками

ИЩАТЕНКО Е. И., ПЫТКИН Ю. Н.

В блоках ВВЭР для компенсации медленных изменений реактивности применена система борного регулирования [1]. Изменение концентрации поглотителя в теплоносителе главного циркуляционного контура (ГЦК) осуществляется подпиткой либо раствором борной кислоты высокой концентрации, либо чистой водой (деионатом) с одновременным дренированием дебалансных вод в дренажные баки через дросселирующее устройство.

Использование метода водообмена для изменения концентрации борной кислоты в теплоносителе ГЦК приводит к накоплению в дренажных баках дебалансных вод, содержащих радиоактивные продукты. Обработка дренажных вод в целях извлечения борной кислоты для повторного использования или захоронения и очистки от радиоактивных продуктов на специальном оборудовании требует затрат и ведет к загрязнению помещений и окружающей среды. Получаемые в процессе переработки жидкие радиоактивные отходы, активность и количество которых в значительной мере определяется режимом эксплуатации АЭС, должны храниться в специальных емкостях.

Действующие блоки ВВЭР-440 как в СССР, так и за рубежом эксплуатируются в основном в базисе нагрузок. В таком режиме объем дренажных вод (с учетом неорганизованных протечек) за время между перегрузками составляет  $\sim 1500\text{ м}^3$ . Данные эксплуатации Кольской АЭС показывают, что темпы заполнения емкостей для хранения жидких радиоактивных отходов превышают проектные.

При работе АЭС в переменном режиме [2, 3] объем планомерно дренируемых вод ГЦК увеличится более чем в 10 раз. Это приведет к росту суммарной активности газоаerosольных выбросов в атмосферу и ухудшению радиационной обстановки в производственных помещениях.

Способ обратимого изменения содержания борной кислоты в теплоносителе ГЦК, основанный на применении свойств ионообменных смол, не решает полностью проблему. Его использование сопряжено со значительным количеством высокоактивных отходов, получаемых при регенерации и замене отработанных смол. Для обратимого изменения концентрации борной кислоты в теплоносителе ГЦК по замкнутому циклу в пределах, достаточных для преодоления нестационарного отравления  $^{135}\text{Xe}$  при работе АЭС в переменной части графиков нагрузок, более перспективным представляется применение специальной установки (рис. 4). Основными элементами установки являются испаритель (с электронагревателями) и конденсатор, выполняющий одновременно функцию компенсатора объема. В испарителе за счет выпаривания происходит накопление высококонцентрированного раствора борной кислоты, который при необходимости подается в ГЦК через регулируемые вентили. Объем воды в испарителе компенсируется за счет притока теплоносителя из ГЦК через обратный клапан, который защищает электронагреватели от перегрева при резком снижении уровня в испарителе. Вода без поглотителя поступает в ГЦК в результате конденса-