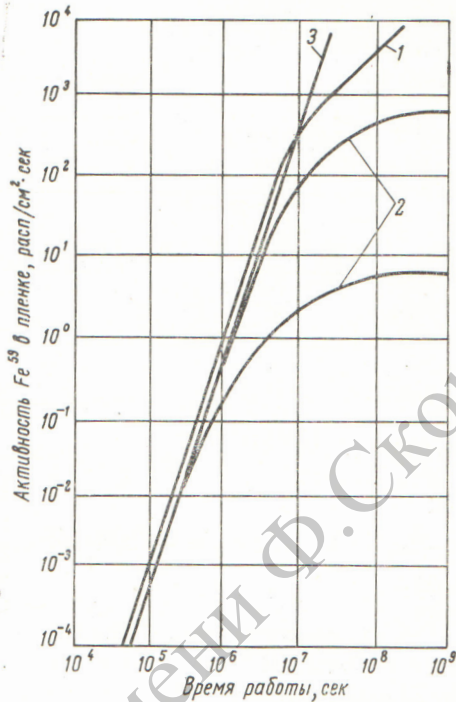


Р и с. 1. Изменение активности Fe^{59} в воде в зависимости от времени работы реактора и величины λ_{Φ} :

1 — расчет по приближенной формуле (19); 2 — расчет по формуле (9), λ_{Φ} равна 10^{-5} и 10^{-3} $сек^{-1}$; 3 — расчет по формуле (21), $\lambda_{\Phi} = 0$; 4 — расчет по формуле (25).



Р и с. 2. Изменение активности Fe^{59} в пленке на поверхности вне зоны облучения в зависимости от времени работы реактора и величины λ_{Φ} :

1 — расчет по формуле (22), $\lambda_{\Phi} = 0$; 2 — расчет по формуле (10), λ_{Φ} равна 10^{-5} и 10^{-3} $сек^{-1}$; 3 — расчет по приближенной формуле (26).

Авторы благодарят А. В. Никитина за полезный обмен информацией и дискуссии и Т. Ручеву за помощь в проведении численных расчетов.

Поступила в Редакцию 3/VIII 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. B r e d e n. Behavior of Reactor Structural Materials from the Shend Point of Corrosion and Crud-formation. Qq Corrosion of Reactor Materials, TID-7587, ANL.
2. Д. Р о т о н, П. К о р н. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использова-

нию атомной энергии (Женева, 1958)». Избр. докл. иностр. ученых. Т. 4. М., Атомиздат, 1959, стр. 336.

3. J. D e d d e n s, R. F r e y b e r g. Brit. Nucl. Energ., 4, No. 1 (1965).
4. The migration the Activator Corrosion Products in High Pressure Water Loops. In book «Corrosion of Reactor Materials». IAEA, 1962.
5. S. Y e r a z u n i s et al. Mechanisms of Reactor System Activation, KAPL-M-SMS-98.
6. C. B a e s. Nucl. Safety, 5, 45 (1963).
7. W. B r o w n, C. B e r g m a n. Nucleonics, 18, No. 7, 60 (1960).
8. Защита ядерных реакторов. Под ред. Т. Роквэлла. М., Изд-во иностр. лит., 1958.

Аппаратура для нейтронного активационного анализа

Б. Г. ЕПИАЗАРОВ, О. А. КАРПУХИН, В. В. МАТВЕЕВ

УДК 543.53

Описаны комплексы аппаратуры и оборудования для стационарной и транспортабельной лабораторий активационного анализа, разработанные в СССР за последние годы. Приведена блок-схема и описана система взаимосвязи отдельных узлов комплекса, позволяющая автоматизировать процесс анализа. Приводятся характеристики нейтронного генератора,

пневмопочты, измерительной аппаратуры и системы мониторинга.

Часть вопросов настоящей работы была освещена в докладе, представленном авторами на Международную конференцию «Современные тенденции в активационном анализе» (19—22 апреля 1965 г., Техас, США).

В СССР, как и во многих странах мира, методы активационного анализа применяются в самых различных областях аналитических исследований, например в геологии [1, 2] и химии (при анализе высокочистых веществ и материалов [3]). С целью обеспечения потребностей народного хозяйства в аппаратуре и оборудовании для проведения активационного анализа в Союзном научно-исследовательском институте приборостроения ГК АЭ при участии сотрудников Всесоюзного научно-исследовательского института ядерной геофизики и геохимии были разработаны комплексы стационарной и транспортабельной лабораторий нейтронного активационного анализа. Первый комплекс уже выпускается приборостроительными заводами, а второй будет серийно изготавливаться с 1966 г.

Нейтронный генератор и пневмопочта для транспортабельной лаборатории разработаны во Всесоюзном научно-исследовательском институте радиационной техники (ВНИИРТ) и в его филиале (г. Рига). Нейтронный генератор (НГ-160) для стационарной лаборатории был разработан Научно-исследовательским институтом электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова.

Общая характеристика комплексов

Конструкция и состав аппаратуры и оборудования стационарной и транспортабельной лабораторий активационного анализа (СЛАА и ТЛАА соответственно) определяются двумя

основными стадиями в процессе активационного анализа: 1) облучение исследуемого образца в потоке нейтронов; 2) измерение наведенной активности. В связи с этим оба комплекса имеют примерно одинаковую блок-схему (см. рисунок).

Электронная часть комплекса для СЛАА выполнена на лампах и полупроводниковых элементах, для ТЛАА — на транзисторах. Питание комплексов СЛАА осуществляется от сети переменного тока с напряжением 220 в, питание комплекса ТЛАА — как от внешней сети, так и от собственного генератора с приводом от двигателя автомашины.

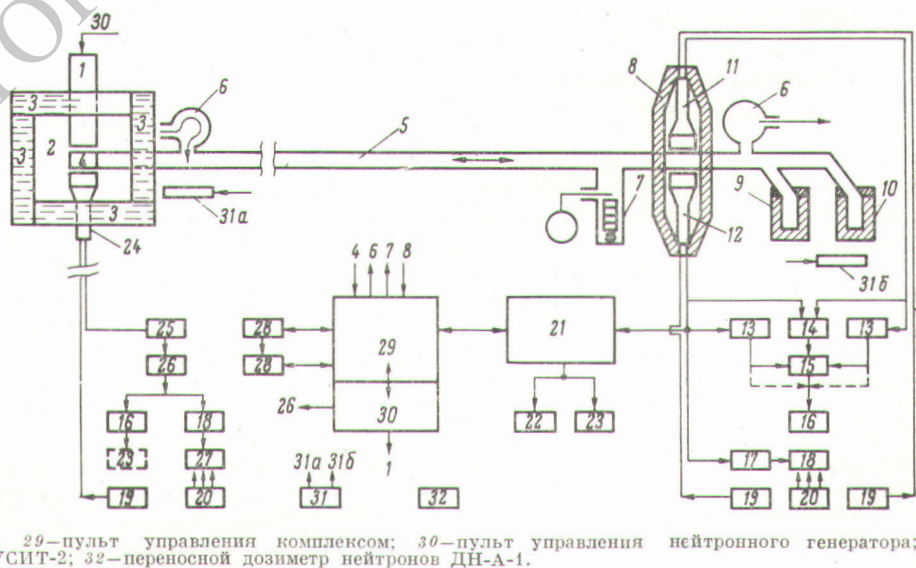
Для размещения аппаратуры СЛАА был разработан типовой проект лабораторного здания с площадью ~190 м². Вся аппаратура и оборудование ТЛАА размещены в крытом кузове автомашины ЗИЛ-157Е. В этом случае нейтронный генератор размещается на расстоянии 10–15 м от автомашины и окружается защитной сборкой из баков, заполненных водой. Система ТЛАА может использоваться и при работе в стационарных условиях.

В комплексе ТЛАА предусмотрены элементы автоматики, позволяющие свести к минимуму участие оператора при проведении большого числа анализов. В этом случае анализ проводится следующим образом.

Оператор подготавливает образцы и загружает их во входную камеру подающего устройства, при включении которого образец попадает в зону облучения. Образец, попадая в концевую камеру, автоматически замыкает

Блок-схема комплекса аппаратуры транспортабельной лаборатории активационного анализа:

1 — нейтронный генератор; 2 — бак для замедлителя; 3 — защитные баки; 4 — концевая камера пневмопочты; 5 — пневмопровод для транспортировки облученных образцов; 6 — насосы; 7 — загрузочное устройство; 8 — защитный домик; 9 — коллектор; 10 — бункер для отходов; 11, 12 — сцинтилляционные датчики; 13 — блоки усилителя и дифференциального дискриминатора; 14 — блок быстрых двойных совпадений; 15 — блок медленных тройных совпадений; 16 — пересчетная схема; 17 — интегральный дискриминатор; 18 — интенсиметр; 19 — высоковольтный блок; 20 — низковольтный блок; 21 — многоканальный анализатор; 22 — цифропечатающее устройство; 23 — самописец; 24 — датчик монитора; 25 — блок усилителя и интегрального дискриминатора; 26 — схема блокировки; 27 — самописец; 28 — блок таймера; 29 — пульт управления комплексом; 30 — пульт управления нейтронного генератора; 31 — УСИТ-2; 31а и 31б — датчики УСИТ-2; 32 — переносной дозиметр нейтронов ДН-А-1.



соответствующие контакты, что вызывает включение генератора нейтронов и таймера, на котором предварительно задано время облучения. Одновременно с включением нейтронного генератора начинает работать устройство, измеряющее поток нейтронов. По истечении заданного времени облучения первый таймер выдает импульс, вызывающий: 1) отключение нейтронного генератора; 2) включение второго таймера, на котором заранее установлено время, соответствующее выдержке между концом облучения и началом измерения наведенной активности; 3) включение пневмопочты для подачи образца к измерительной аппаратуре. Затем второй таймер выдает импульс, вызывающий одновременное включение измерительной аппаратуры и таймера, на котором предварительно установлено необходимое для измерения время. По истечении этого времени импульс с третьего таймера останавливает измерительную аппаратуру и включает механизм, сбрасывающий исследуемый образец в бункер для отходов или в коллектор, откуда образец может быть извлечен для повторного измерения. Одновременно начинается вывод информации из измерительной аппаратуры на цифропечать*. Последовательность выполнения всех вышеперечисленных операций контролируется оператором по световым табло, установленным на общем пульте управления комплексом.

Рассмотренные комплексы аппаратуры активационного анализа могут быть использованы как для исследовательских работ, так и для проведения массовых анализов в производственных условиях.

Краткая характеристика отдельных узлов

При разработке отдельных узлов, входящих в каждый из рассмотренных комплексов, основное внимание уделялось обеспечению их оптимальных характеристик с точки зрения активационного анализа. При этом необходимо было учитывать специфику работы в условиях СЛАА и ТЛАА. Ниже приводится краткая характеристика каждого из узлов этих лабораторий.

* В настоящее время разрабатываются системы, осуществляющие вывод информации из анализатора непосредственно в счетно-решающую машину, которая после обработки спектра по заранее составленной программе выдает в качестве конечного результата весовое содержание интересующего элемента.

Нейтронный генератор. Для комплекса СЛАА был разработан нейтронный генератор типа НГ-160 на основе откатной ускорительной трубки с выходом до $1 \cdot 10^{10}$ нейтр/сек. Для получения нейтронов могут быть использованы (d, d) - и (d, t) -реакции. Генератор может работать как в непрерывном, так и в импульсном режиме. В импульсном режиме частота импульсов может достигать 500 гц.

Для ТЛАА был разработан нейтронный генератор типа НГИ-1 на основе отпаянной нейтронной трубки с выходом до $5 \cdot 10^8$ — $1 \cdot 10^9$ нейтр/сек. Генератор работает в импульсном режиме с частотой 10 гц.

Для получения нейтронов используется (d, t) -реакция. Управление работой генераторов в обоих комплексах осуществляется с централизованных пультов.

В том случае, когда нейтроны образуются в процессе (d, t) -реакции, активационный анализ можно проводить как на быстрых, так и на тепловых нейтронах. В последнем случае мишенная часть генератора вводится в специально сконструированный бак с замедлителем (водой) объемом около 1 м³. Для заполнения бака водой в комплексе ТЛАА имеется насос.

Поскольку генераторы, входящие в состав СЛАА и ТЛАА, работают в импульсном режиме, они могут быть использованы не только в целях активационного анализа, но и для решения других задач, в частности для исследований γ -излучения радиационного захвата и неупругого рассеяния нейтронов.

Система транспортировки образцов. Для транспортировки образцов на облучение, а затем к измерительной аппаратуре разработаны две системы пневмопочты, которые обеспечивают транспортировку образца весом до 40 г на расстояние 10 м за время ~ 2 сек. Такая скорость транспортировки вполне достаточна для проведения анализа по короткоживущим изотопам.

Предусмотренные в системе пневмопочты, входящей в комплекс ТЛАА, механизмы автоматической подачи образцов для облучения, загрузки образцов в измерительный «домик» и автоматического сброса образца после измерения в свинцовый контейнер обеспечивают радиационную безопасность обслуживающего персонала, а также быстроту и автоматизацию процесса измерения.

Измерительная аппаратура. Измерительная аппаратура, входящая в каждый комплекс, дает возможность получать спектры γ -излуче-

ния изотопов, образующихся в исследуемых образцах.

Регистрация γ -излучения осуществляется сцинтилляционными счетчиками, собранными на ФЭУ-13 и ФЭУ-56 с монокристаллами NaJ(Tl), размеры которых 40×50 и 70×70 мм, энергетическое разрешение (при $E_\gamma = 662$ кэв) не хуже 10 и 13% соответственно.

При замене кристалла NaJ(Tl) β -детектором, состоящим из органического стекла с нанесенным на него слоем стиблена толщиной 20 мг/см², можно регистрировать β -излучение с эффективностью, которая приблизительно в 100 раз больше эффективности регистрации γ -излучения. В каждый из комплексов включено по два сцинтилляционных датчика, что позволяет регистрировать $\beta - \gamma$ - и $\gamma - \gamma$ -каскадные процессы. Датчики излучения размещены в защитном свинцовом домике, толщина стенок которого около 40 мм.

Анализ энергетического спектра γ -излучения наведенной активности в комплексе СЛАА осуществляется при помощи амплитудного анализатора типа АИ-256. В системе ТЛАА для этих целей используется транзисторный амплитудный анализатор типа АИ-1024-4 [4], имеющий четыре группы памяти, по 256 каналов в каждой группе. Емкость счета каждого канала составляет 2^{18} . Среднее «мертвое» время анализатора равно 80 мксек. В анализаторе предусмотрено задание экспозиции по текущему времени, «живому» времени и по заданному числу импульсов. Измерение этих нормирующих показателей значительно упрощает интерпретацию полученных спектров.

Кроме того, анализатор позволяет проводить амплитудный анализ на последовательных временных отрезках (например, при снятии периода полураспада), амплитудный анализ одновременно нескольких процессов, а при замене входного блока — также временной анализ и двумерный амплитудно-временной анализ. Результаты измерений регистрируются на двухкоординатном самописце типа ПДС-021 цифropечатающим устройством типа БЗ-15, а также на экране осциллоскопа. Скорость вывода данных составляет 1 канал/сек при использовании ПДС-021 и 5 каналов/сек — для БЗ-15.

Помимо многоканального анализатора в комплекс СЛАА входит установка, состоящая из двух одноканальных анализаторов, имеющих усилитель, дифференциальный дискриминатор и пересчетную схему. Изменение порога дискриминации и вывод показаний пересчетной

схемы на цифropечатающее устройство БЗ-15 осуществляется автоматически. Время измерения задается таймерным устройством в пределах 10—1000 сек. Это же устройство позволяет автоматически снимать кривую распада. В ТЛАА аналогичное устройство (но с ручным изменением порога дискриминации) входит в состав установки типа УРС. Как уже указывалось, использование двух сцинтилляционных датчиков позволяет помимо спектрометрии осуществлять регистрацию каскадных процессов или аннигиляционного излучения, что в ряде случаев облегчает задачу выделения интересующего элемента. В связи с этим в установки УБГД и УРС введены системы регистрации совпадений, построенные по принципу так называемых быстро-медленных совпадений. Разрешающее время такой системы составляет около $5 \cdot 10^{-8}$ сек при эффективности не менее 90%.

Контрольная аппаратура. В составе комплексов имеется аппаратура, обеспечивающая контроль и измерение относительной величины потока нейтронов во время облучения исследуемых образцов, которую необходимо знать для получения количественных результатов анализа.

Для СЛАА разработана установка типа УНАМ, объединяющая две системы контроля непрерывных нейтронных потоков. В одной из систем в качестве детектора используется коренный счетчик типа САТ-11, размещенный в камере генератора НГ-160 (вблизи мишени) и регистрирующий α -частицы, испускаемые в (d, t)-реакции. В другой системе нейтроны регистрируются «всеволновым» счетчиком. Электронная часть каждой из систем состоит из усилителя и интегрального дискриминатора с выходом на пересчетную схему или интенсивметр, которые в свою очередь имеют выход на цифropечатающее устройство типа БЗ-15 и самописец типа ПС-01 соответственно. В установку входит также таймерное устройство.

Для контроля импульсных нейтронных потоков от генератора НГИ-1, входящего в состав ТЛАА, было разработано устройство, которое регистрирует β -излучение N^{16} , образующегося в реакции $O^{16}(n, p)N^{16}$. Разработка подобного устройства обусловлена тем, что прямые методы регистрации нейтронов неприменимы для мониторингирования импульсных потоков из-за высокой плотности нейтронов во время импульса. Устройство, контролирующее импульсный поток нейтронов, включает в себя сцинтилляционный детектор из сцинтиллирующей пластмассы, окруженный кислородсодержащим ве-

ществом (органическое стекло), усилитель, интегральный дискриминатор с выходом на пересчетную схему и интенсиметр, показания которого фиксируются самописцем Н-360. Схема блокировки пропускает импульсы с датчика, вызванные регистрацией в сцинтилляционной пластмассе β -излучения N^{16} , только в момент между импульсами нейтронного генератора. Такая система в отличие от других активационных мониторов позволяет непрерывно контролировать импульсный поток нейтронов в процессе облучения.

Дозиметрическая аппаратура. Дозиметрический контроль радиационной безопасности работающего персонала обеспечивается аппаратурой, серийно выпускаемой в настоящее время промышленностью (УСИТ-2, ДНА-А1, РП-1, ТИСС-1 для СЛАА и УСИТ-2, ДН-А1, ДК-0,2 для ТЛАА).

В заключение следует отметить, что область применения активационного анализа очень широка. При решении конкретных задач можно использовать только часть аппаратуры и оборудования, входящих в состав описанных комплексов. Это может привести к существенному упрощению комплексов, а следовательно, даст возможность повысить надежность, снизить стоимость и создать более удобные условия для эксплуатации подобной аппаратуры.

В связи с этим при разработке указанных комплексов были созданы унифицированные элементы, определенные комбинации из которых позволяют решать многие практические задачи. В настоящее время разработаны следующие унифицированные узлы аппаратуры радиоактивационного анализа: 1) нейтронные источники; 2) спектрометрическая аппаратура, в том числе спектрометрические датчики и анализаторы; 3) аппаратура контроля нейтронных потоков; 4) вспомогательная аппаратура, в том числе устройства для транспортировки образцов и устройства автоматического управления.

Поступила в Редакцию 24/I 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труды Первого всесоюзного координационного совещания по активационному анализу. Ташкент, «Наука», 1964.
2. Д. И. Лейпунская, Р. А. Резванов, В. И. Дрынкин. В сб. «Ядерная геофизика при поиске полезных ископаемых». М., Гостехиздат, 1960, стр. 162.
3. Ю. В. Яковлев. Диссертация. Москва, 1964.
4. С. С. Курочкин и др. В кн. «Труды VI Всесоюзной конференции по ядерной электронике». Т. 3. М., Атомиздат, 1965.

Вопросы генезиса сферолитов настурана

Ю. М. ДЫМКОВ

УДК 553.495

Приведен краткий обзор признаков кристаллизационного роста сферолитов настурана, который рассматривается как псевдоморфоза UO_{2+x} по U_3O_8 . Показано, что предположение о первоначальном выпадении настурана в виде метастабильной U_3O_8 согласуется с представлениями об условиях образования сферолитов из пересыщенных истинных растворов.

Образование окислов урана в природе происходит по меньшей мере двумя путями: в результате восстановления $U(VI)$ и $U(V)$, например по полной или частичной схеме $U[VI(V)]_{\text{раств}} \rightarrow U_3O_8 \rightarrow U_2O_5 \rightarrow U_3O_7 \rightarrow U_4O_9 \rightarrow UO_{2+x}$, и при частичном окислении $U(IV)$, например $USiO_4 \rightarrow UO_{2+x} + SiO_2$. В процессе восстановления образуются псевдоморфозы UO_{2+x} по первичному окислу.

Существует ряд нерасшифрованных структур в сферолитах настурана и нерешенных вопросов генезиса, но все более обосновывается

предположение, допускающее, что значительная часть настуранов представляет собой псевдоморфозы кубической UO_2 по ромбической U_3O_8 [1—4]. Вместе с тем, предполагая, что при формировании настурана в качестве промежуточной фазы образуется U_3O_8 , можно ожидать, что все сведения о кристаллизационной природе настурана [5] и представления о механизме роста его сферолитов* должны находиться в согласии с данными об условиях образования U_3O_8 (или соответственно U_2O_5). В предлагаемой работе показано совпадение условий (пересыщение и pH растворов), в которых образуются природные и синтетические настураны и U_3O_8 .

Выводы о кристаллизационной природе настурана [5] не являются общепризнанными. Большинство исследователей относит настуран к ми-

* Исключение составляют псевдоморфозы по кофинуиту [6] и пластинчатые формы, генезис которых полностью не расшифрован.