

Симпозиум МАГАТЭ по проектированию «горячих» лабораторий и оборудованию для них

В работе симпозиума, состоявшегося 2—6 августа 1976 г. в Финляндии, участвовали делегации 32 стран и трех международных организаций. Всего было представлено 46 докладов по пяти основным разделам: безопасность при планировании и проектировании; системы передачи и очистки воздуха; контроль за критичностью, противопожарная защита и обращение с отходами; радиационная защита и административные меры; опыт эксплуатации. Основное внимание уделялось техническим, конструктивным и организационным мероприятиям, направленным на повышение радиационной безопасности при работе с килограммовыми количествами плутония и с граммовыми трансурановых элементов. Интерес к этим проблемам вызван расширением программ создания быстрых реакторов.

Повышенная радиационная опасность работ с облученным топливом при большом содержании плутония потребовала дополнительных мер безопасности. Специальных лабораторий для этих целей сооружается сравнительно мало — были названы только две строящиеся новые установки в Японии и приведены проекты еще двух в США. В остальных странах реконструируются и модернизируются существующие. В большинстве лабораторий для работы с облученным топливом предусматриваются большие «горячие» камеры (длина до 20 м, ширина 4—6 м, высота 7—10 м) с высокой степенью герметизации, биологической защитой, рассчитанной на активность до 10^6 Ки, разборным перекрытием, внутрикамерными мостовыми кранами и электромеханическими манипуляторами. Наряду с большими применяются камеры обычных размеров, но с разборной защитой (или откатной задней стенкой) и боксы. Камеры и боксы оснащаются критмассово-безопасной аппаратурой, системами передач продукта без нарушения герметичности, эффективной системой очистки выбрасываемого воздуха и автоматическими противопожарными установками с использованием жидкой углекислоты или тетрафтордибромэтана. Пожарной безопасности уделяется особое внимание, так как продукты пирофорны, значит, возможность возникновения пожара не исключена, а в этом случае выходят из строя фильтры и выброс в атмосферу большого количества активности неизбежен.

В США средняя доза облучения персонала «горячих» лабораторий предусмотрена 4 бэр в год (0,5 мбэр/ч), здания и сооружения рассчитываются на ураганные ветровые нагрузки («Торнадо») и сейсмичность до 9 баллов, что удорожает строительство приблизительно на 10%, но гарантирует от распространения опасных загрязнений при стихийных бедствиях. При проектировании новых и реконструкции старых лабораторий планируются мероприятия по своевременному прекращению работы установок при авариях, дезактивации оборудования, его демонтажу и эвакуации.

Большое внимание обращается на стандартизацию основного оборудования и его узлов, что является средством не только удешевления, но и повышения радиационной безопасности, поскольку позволяет внедрять в практику хорошо отработанное, проверенное, а следовательно, надежное оборудование. Этой же цели служит применение высококачественных материалов. Унифицированное оборудование и его узлы во Франции изготавливаются в промышленных масшта-

бах и продаются не только на внутреннем рынке, но и за рубежом. Другой аспект повышения безопасности состоит в автоматизации часто повторяющихся операций, например анализа состава топлива, γ -спектрометрии, фотометрии. Операции выполняются с использованием ЭВМ. Для автоматизации вспомогательных операций во Франции разработан новый манипулятор ММ-8 с программным управлением и обратной связью, причем запись программы на ЭВМ осуществляется автоматически при выполнении требуемых движений оператором вручную. Недостатком манипулятора является расположение всех исполнительных двигателей внутри камеры, а это не может обеспечить долговременную их работу с высоким уровнем γ -активности. От α - и β -загрязнений приводы защищены чехлом с поддувом воздухом, воздух сбрасывается через фильтр.

К вентиляционным системам «горячих» лабораторий предъявляются повышенные требования. В камерах и боксах поддерживается разрежение от 25 до 40 мм вод. ст. (и даже более), а перепад давлений между камерой и ремонтной зоной — на уровне 6—25 мм вод. ст. Большинство камер и боксов имеют клапанную систему на приточной вентиляции, которая поддерживает заданные параметры воздухообмена в случае падения разрежения из-за нарушения герметичности (разрыв перчатки, разбитое стекло и т. п.), при этом срабатывает система тревоги с подачей звукового сигнала. Приточный воздух очищается на фильтрах, вытяжка от камер и боксов, как правило, многоступенчатая. Иод-131 улавливается угольными фильтрами повышенного качества, в их конструкции предусмотрена рама, поджимаемая винтовым приводом, что обеспечивает равномерное уплотнение слоя угольного порошка. При разделке твэлов применяется усложненная система очистки воздуха. За угольными фильтрами установлены промывные колонки, их орошают сульфатными соединениями, нитратами ртути или другими растворами. Воздух после осушки поступает на фильтры из диоксида или нитрата серебра и на контрольный угольный фильтр. Коэффициент очистки воздуха с помощью такой системы равен 10^5 . Особо отмечалось, что пока нет фильтров, стойких к высокой температуре (более 200 °С), следовательно, при пожаре системы очистки перестают работать.

Значительные аварии могут быть вызваны нарушением критмассовой безопасности. Были приведены данные о силе хлопка в боксе при самопроизвольной реакции со взрывом тротила: при $2 \cdot 10^{17}$ делений в секунду сила хлопка соответствует взрыву 25 г тротила, при $7 \cdot 10^{18}$ —1000 г. Наиболее вероятна минимальная авария с числом делений в секунду $2 \cdot 10^{17}$, но уже в этом случае боксы разрушаются. Возможную аварию предотвращает критмассово-безопасная аппаратура, а также ограничение количества плутония в аппаратах. Особое затруднение вызывает контроль критмассовой безопасности. Разрабатываются новые двухступенчатые сцинтилляционные датчики, которые срабатывают при начале реакции, а при дозе 0,6 Р/с подают сигнал тревоги.

Значительное место в обсуждении было отведено организационно-техническим мероприятиям, способствующим поддержанию безопасных условий работы

в «горячих» лабораториях. К ним относятся разработка новых санитарных правил, подробные отчеты действующих предприятий о мерах безопасности, принятых на объектах, о конкретной радиационной обстановке, статистике и т. п. После рассмотрения и утверждения этих докладов компетентными органами страны дается разрешение на продолжение работ. Доклады повторяются в случае изменения технологии на объекте или замены основного оборудования (Франция). Во многих странах разрешение на работу с плутонием возобновляется ежегодно с указанием максимально допустимого для данной лаборатории количества. Обслуживающий

персонал проходит необходимую подготовку и должен обладать высокой квалификацией, а основное оборудование подвергается профилактическому осмотру и ремонту не реже чем через 18 месяцев.

Значительный интерес у зарубежных делегаций вызвал доклад специалистов СССР, в котором изложены основные направления в решении вопросов безопасности при проектировании «горячих» лабораторий и опытных установок в нашей стране. Труды симпозиума будут изданы МАГАТЭ.

РЯБОВ Б. И.

Второй семинар по моделированию радиационных и других дефектов на ЭВМ

Тематика второго семинара, проходившего в Ленинградском политехническом институте им. М. И. Калинина 22—24 июня 1976 г., была посвящена в основном радиационным дефектам.

Семинар открылся обзорным докладом А. Н. Орлова (ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР), в котором анализировались публикации по проблеме «Радиационные эффекты и ядерная энергетика» в свете требований, предъявляемых к материалу стенок термоядерного реактора. При решении некоторых задач может быть использовано машинное моделирование, а в отдельных случаях оно является пока единственным доступным методом исследования.

В докладе В. Я. Мигалени (ФТИ АН УССР, Харьков), основанном на результатах оригинальных работ группы авторов, представлена методика расчетов спектров первично выбитых атомов (ПВА), учитывающая упругие и неупругие ядерные процессы при рассеянии нуклонов средней энергии (до 50 МэВ). При такой энергии существенны анизотропия при рассеянии первичных частиц и, следовательно, связанная с ней анизотропия в пространственном распределении ПВА. Создан комплекс программ, позволяющих рассчитывать энергетические и пространственные характеристики ПВА при взаимодействии протонов, нейтронов и тяжелых ионов с энергией порядка 1 МэВ/нуклон с различными материалами. Сечения упругого рассеяния определялись по оптической модели, неупругие процессы при энергии выше 10 МэВ описываются в рамках экситонной модели, учитывающей вклад предравновесного и равновесного компонентов в распад ядра. При взаимодействии тяжелых ионов учитывается экранирование заряда ядра электронами. Приведены результаты расчетов спектров ПВА от протонов с энергией 5—25 МэВ и тяжелых ионов для некоторых конструкционных материалов. Для легких элементов с $A < 40$ учет упругого ядерного рассеяния приводит к увеличению полного числа ПВА в 5—10 раз по сравнению с расчетами без учета ядерных взаимодействий. Рассматривается возможность имитации радиационных повреждений от быстрых и сверхбыстрых нейтронов с помощью протонов и тяжелых ионов.

Доклад В. В. Огородникова (Институт проблем материаловедения АН УССР) был посвящен моделированию радиационных дефектов по методу Вийньярда для бинарных кристаллов. Исследования проводились на модели кристалла TiC со структурой NaCl. В качестве потен-

циала взаимодействия использован потенциал Морзе. Рассчитана равновесная конфигурация идеального кристалла из 125 атомов в свободном состоянии (без наложения граничных условий на поверхности). Получено практически равномерное сжатие кристалла под действием сил поверхностного натяжения, составившее 4%. Аналогичные расчеты проведены для кристаллов с заданными дефектами (вакансии в металлической и углеродной подрешетках, междоузельные атомы металла и углерода). Энергия, высвобождаемая при выходе вакансии из центра на поверхность, составляет 2,4 эВ, что в этой модели можно принять за энергию образования металлической вакансии. Существенные смещения в сторону вакансии испытывали ближайшие атомы углерода (до 0,25 периода решетки). Междоузельные атомы занимают гантельное положение в направлении $\langle 111 \rangle$.

В докладе Ю. Р. Кеворкяна (ИАЭ им. И. В. Курчатова) изложены результаты работы группы авторов по моделированию каскадов атомных столкновений в α -Fe с учетом неупругих потерь, взаимодействия движущихся атомов с дефектами, возникшими ранее в том же каскаде, и отжига в течение 10^{-7} с при 300 и 800 К. Эффективность смещения падает с энергией ПВА до 15 кэВ. Более 70% вакансий связаны в комплексы, более 80% внедрений — одиночные. Отжиг при 300 К рекомбинирует 90% пар дефектов, при 800 К — 80%. Получены также распределения вакансионных кластеров по размерам до и после отжига и некоторые другие характеристики каскадов.

В докладе Л. К. Кузнецова (ГГУ им. Н. И. Лобачевского, Горький) освещалось моделирование различных процессов, происходящих в ОЦК металлах (α -Fe, Mo, W). В результате расчета каскадов смещений найдено, что (в противоположность выводам Билера) его пространственная конфигурация зависит от направления смещения ПВА. Наиболее стабильными плоскими кластерами вакансий являются скопления, лежащие в плоскости $\langle 110 \rangle$ и имеющие максимальное количество связей типа $\langle 111 \rangle$, объемными — комплексы с формой октаэдра. Энергия образования плоского комплекса пропорциональна количеству вакансий N в комплексе, объемных комплексов — $N^{2/3}$. Движение дислокации в поле случайно распределенных препятствий (в приближении Формена—Мэкина) происходит за счет перегибов дислокационных сегментов. С увеличением напряжения становятся возможными срывы сег-