

методы измерений, обладающие наибольшей чувствительностью и наилучшей дискриминацией  $\gamma$ -фона. На больших уровнях мощности более предпочтительны токовые методы измерения потока нейтронов.

Несмотря на кажущееся многообразие аппаратуры, может быть выделен ряд функциональных электронных блоков, в результате унификации которых различные аппаратурные каналы могут быть выполнены единообразно и состоять из быстросъемных и взаимозаменяемых узлов.

Детальное рассмотрение в Союзном научно-исследовательском институте приборостроения (СССР) структуры перечисленных выше аппаратурных каналов показало, что поставленной задаче отвечает набор из 17 функциональных блоков. В табл. 1 дан полный перечень типовых унифицированных функциональных блоков, предназначенных для построения аппаратурных каналов СУЗ. Все аппаратурные блоки выполнены на типовых унифицированных шасси быстросъемной конструкции, состоящей из лонжеронов, передней и задней панели. На передней панели располагаются органы управления и ручка для извлечения блока из каркаса. На задней панели блока располагаются

органы подстройки электронных схем и разъем ножевого типа с ловителями.

В Институте ядерных исследований ПНР разработан комплект из 13 типовых унифицированных модулей для построения приборов измерения и управления (ТРР). Тринадцать модулей позволяют построить пять вариантов приборов типа ТРР (ТРР-1, ТРР-2А, ТРР-2В, ТРР-3, ТРР-4), различающихся функционально и диапазонами измерений. В табл. 2 представлен состав всех вариантов.

Следует отметить, что разработанные в СССР и ПНР комплекты блоков и модулей решают лишь основные задачи контроля и управления ядерными реакторами. Предполагается изучить возможность улучшения их технических и эксплуатационных параметров путем использования новых схемных решений и новых комплектующих изделий, а также разработать новые функциональные блоки и каналы.

В ходе дискуссий намечались научно-технические проблемы, на решение которых целесообразно направить объединенные усилия стран — членов СЭВ.

А. Г. Филиппов

## Проблемы радиационной безопасности в проектировании и эксплуатации горячих лабораторий

Обмен информацией в области проектирования и эксплуатации горячих лабораторий в течение последних 10 лет носил ограниченный характер, охватывая лишь небольшое число стран Америки и Западной Европы. Хотя начиная с 1958 г. Американское ядерное общество ежегодно организует национальные конференции по горячим лабораториям, в них обычно принимают участие лишь специалисты Великобритании, Франции, Канады и ФРГ. Симпозиум в Сакле, организованный в октябре 1969 г. МАГАТЭ, явился первым действительно международным совещанием, которое было целиком посвящено этой весьма важной и актуальной теме. В нем приняло участие около 200 специалистов из 26 стран и 6 международных организаций. Всего было представлено более 60 докладов. Доклады, сгруппированные в соответствии с их тематикой, обсуждались на специальных заседаниях, посвященных аспектам безопасности в конструкции лабораторий и установок, защитному оборудованию, защите персонала и дозиметрии, опыту эксплуатации горячих лабораторий, специальным и профилактическим операциям, вентиляции и контролю за загрязнением воздуха.

За последнее время в мировой практике накоплен большой опыт в проектировании, оборудовании и эксплуатации горячих лабораторий. Конструкция используемых защитных устройств прогрессировала до тщательно разработанных установок, оснащенных сложными системами дистанционного управления и совершенной смотровой системой. Однако развитие шло не только по пути усложнения и удорожания защитного оборудования. При его конструктивной разработке и совершенствовании было найдено много простых и остроумных решений. Сложный комплекс инженерных средств и приемов современной горячей лаборатории позволяет совершенно безопасно проводить любые необходимые операции и эксперименты с радиоактивными материалами в количествах, дости-

гающих сотен тысяч кюри. Число горячих лабораторий в странах мира быстро увеличивается, и они уже перестали быть достоянием только крупных промышленных держав.

Ставшая классической трехзональная система планировки помещений горячих лабораторий практически не претерпела изменений. Исключение составляют лишь некоторые французские лаборатории для работ с материалами среднего уровня активности, а также опытные и полупроизводственные установки временной конструкции, построенные по двухзональной системе без специальной ремонтной зоны (Г. Лефор, Франция). Радиационная безопасность и, в частности, защита от радиоактивного загрязнения в таких лабораториях обеспечивается за счет абсолютной герметизации используемых защитных устройств.

Большой интерес у аудитории вызвал доклад И. К. Швецова и др. (СССР), в котором в качестве оптимального варианта планировки горячей части здания лаборатории предлагается круговое расположение камер. Эта оригинальная схема выгодно отличается от общепринятого линейного расположения компактною здания, относительно меньшей площадью ремонтной зоны, а также удобством обслуживания горячих камер.

Несколько лет назад в некоторых странах возник новый подход к проектированию защитных устройств, согласно которому проблемы защиты от проникающего излучения и защиты от распространения радиоактивного загрязнения решаются совершенно независимо.

Такой подход вполне оправдан, если учесть, что требуемая эффективность биологической защиты зависит только от характера и интенсивности радиоактивного излучения источника, тогда как необходимая степень герметичности и эффективности вентиляции внутреннего объема горячей камеры или защитного бокса зависит от других факторов, таких, как радиологическая



токсичность вещества, физическая и химическая форма, характер проводимых операций. Практически это осуществляется следующим образом. Роль биологической защиты выполняет стенка из соответствующего защитного материала, оборудованная со стороны оператора защитной смотровой системой, манипуляторами и необходимыми устройствами, а все операции с радиоактивным материалом проводятся в легком герметизированном сменном боксе (сделанном, например, из плексигласа). Это позволяет снизить стоимость защитных устройств, увеличить эффективность использования горячей зоны, а также легко и с меньшими затратами осуществлять модернизацию и реконструкцию лаборатории. Наибольшее распространение этот подход получил во Франции (Р. Мас), причем его дальнейшее развитие привело к созданию также унифицированных стандартных элементов защиты, из которых может быть легко собрана требуемая защита со всеми необходимыми устройствами (Ж. Вертю). Для изготовления стандартных защитных кирпичей используется свинец, сталь, бетон и полиэтилен. Толщина стенки, ее габариты, расположение смотровой системы могут быть легко изменены в соответствии с рабочими требованиями. Такая защита широко используется в полугорячих лабораториях и при создании опытных и полупроизводственных установок.

Принцип «бокс в камере» в последние годы широко применяется и при создании горячих лабораторий высокого уровня активности, в особенности там, где наряду с  $\beta$  —  $\gamma$ -активностью приходится иметь дело с  $\alpha$ -излучателями (урановое горючее с большим выгоранием и твэлы на основе плутония), а также при необходимости создания специальной атмосферы (работа с пирофорными материалами, проведение некоторых химических операций). Опыт работы таких лабораторий подробно рассматривается в докладах Х. Мюлера и др. (ФРГ) и Л. Хайе и А. Пулэна (Франция). Применение герметичного бокса в камере потребовало усовершенствования вспомогательного оборудования камеры, используемого для дистанционного управления, и разработки специальных методов межзональной передачи без нарушения герметичности. В результате этих разработок появилось много оригинальных и остроумных решений. Для герметичного сочленения бокса с транспортным туннелем, системой сбора радиоактивных отходов или вентиляционными каналами используются гидравлические затворы. Герметизация обычных копирующих манипуляторов осуществляется с помощью специальных чехлов, которые крепятся на стенке или потолке бокса и служат как бы перчатками для манипулятора. Замена этих чехлов осуществляется дистанционно без нарушения герметичности бокса. В отдельных случаях используются специальные герметичные манипуляторы (магнитные, разработанные и выпускаемые во Франции, и копирующие с механической связью, созданные в США и ФРГ). Однако такие манипуляторы весьма дороги. Для передачи в бокс и удаления из бокса различных материалов и образцов без нарушения герметичности широко используется весьма простая и надежная система «пластикового чулка». Однако дистанционное управление этой системой при большом перепаде давления внутри бокса довольно затруднительно, поэтому в таких случаях используется так называемая система двойной крышки. Здесь передача осуществляется с помощью специального контейнера, который герметично стыкуется с фланцем передаточного отверстия бокса. При этом крышки контейнера и передаточного отверстия также герметично сочленяются своими чистыми сторонами, затем такая сдвоен-

ная крышка открывается внутрь бокса и осуществляется требуемая передача. Для отсоединения контейнера от бокса все эти операции производятся в обратном порядке. Система двойной крышки получила широкое распространение в лабораториях Франции, ФРГ и США. Подробное описание этой системы и опыт ее эксплуатации представлены в докладах Ж. Вертю (Франция), Г. Лефора (Франция), Л. Хайе и А. Пулэна (Франция), Х. Витта и др. (ФРГ) и У. Бёрча (США).

Особое место среди горячих лабораторий занимают создаваемые в последнее время лаборатории для работы с трансплутониевыми элементами. Специфика таких лабораторий подробно рассматривается в докладе В. Н. Косякова (СССР). Она в первую очередь связана с тем, что здесь приходится иметь дело с препаратами, обладающими огромной  $\alpha$ -активностью и представляющими серьезную опасность с точки зрения загрязнения воздуха рабочих помещений и окружающей среды. Второй, не менее важной, особенностью является необходимость нейтронной защиты, так как некоторые изотопы претерпевают спонтанное деление и являются мощными источниками быстрых нейтронов (в частности,  $\text{Cm}^{242}$  и  $\text{Cm}^{244}$  и особенно  $\text{Cf}^{252}$ ). Относительно высокие потоки быстрых нейтронов могут создаваться и при работе с чистыми  $\alpha$ -излучателями по реакции ( $\alpha, n$ ). Все эти особенности, естественно, должны учитываться в конструкции защитных устройств. Поэтому во всех существующих «трансплутониевых» лабораториях обязательно используется принцип «герметичного бокса в камере» со всеми связанными с этим усовершенствованиями средств и приемов дистанционного управления. Для изготовления биологической защиты и смотровых систем камер и боксов используются специфические материалы, хорошо поглощающие смешанное нейтронное и  $\gamma$ -излучение. К ним относятся специальные сорта бетона, а также полиэтилен, плексиглас, вода, масла и другие богатые водородом вещества в сочетании с тяжелой компонентой защиты или в чистом виде. Такие лаборатории построены в США, ФРГ и Бельгии. Во Франции в Фонтене-о-Роз заканчивается строительство полупроизводственной установки «Петрус-II», предназначенной для получения калифорния и других трансплутониевых элементов. В докладе И. К. Швецова и др. (СССР) описан проект «трансплутониевой» лаборатории, создаваемой в СССР, полностью учитывающей специфику работы с этими элементами. Трехлетний опыт эксплуатации полупроизводственной «трансплутониевой» лаборатории в Ок-Ридже, предназначенной для получения граммовых количеств  $\text{Cf}^{252}$  (У. Бёрч, США), полностью подтвердил правильность подхода и принципы, используемых в настоящее время при проектировании подобных лабораторий.

Использование принципа «бокса в камере» значительно упрощает проблему дезактивации горячих камер, которые при нормальных условиях эксплуатации остаются практически чистыми. Однако параллельно с этим возникает проблема централизованной дезактивации самих боксов и используемого в них оборудования. С этой целью применяются специальные дезактивационные камеры, расположенные непосредственно в той же лаборатории, либо на централизованной станции дезактивации, обслуживающей несколько лабораторий. Конструкция и опыт работы такой станции подробно описаны в докладе Ж. Боурдреза и др. (Франция). Для проведения дезактивационных, монтажных и ремонтных работ в так называемых  $\beta$  —  $\gamma$ -камерах, построенных по классическому принципу, оператор вынужден входить внутрь камеры, работая там в специальном пневмокостюме под непре-



рынным наблюдением дозиметриста. Этот метод широко используется практически во всех странах. Поэтому в настоящее время много внимания уделяется разработке специальных пневмокостюмов и других средств индивидуальной защиты. Опыт Советского Союза в этой области нашел свое отражение в двух докладах, представленных С. М. Городинским («Дезактивация защитного оборудования и средств индивидуальной защиты» и «Средства индивидуальной защиты для работы в горячих лабораториях»). Во Франции раз-

работан пневмокостюм весьма оригинальной конструкции, позволяющей оператору входить в герметизированное помещение без нарушения герметичности. Здесь использован тот же принцип, что и в системе «двойной крышки» (Ж. Вертю, Франция). Костюмы такой конструкции применяются также в ФРГ (Х. Виттэ и др.).

Полные тексты всех представленных докладов и обзоров будут опубликованы МАГАТЭ в виде трудов симпозиума в 1970 г.

В. Н. КОСИКОВ

## Международная конференция по удержанию плазмы в замкнутых системах

С 29 сентября по 3 октября 1969 г. в Дубне прошла Международная конференция по удержанию плазмы в замкнутых системах, организованная Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР и Академией наук СССР. Интерес к этому, казалось бы частному вопросу всей проблемы термоядерных исследований, обусловлен, во-первых, значительными успехами в получении и удержании относительно горячей плазмы в тороидальных системах и, во-вторых, перспективностью использования подобных систем для создания в будущем энергетически выгодного термоядерного реактора.

В работе конференции участвовало 200 специалистов. Было представлено и заслушано 65 оригинальных работ и 6 обзоров, посвященных анализу результатов, полученных на тороидальных системах различных типов, и последним достижениям теории.

Восемь заседаний были тематическими. Так, первые два заседания конференции были посвящены стеллараторам, третье заседание — левитрону и его разновидностям (сфератор, мультиполи), четвертое — проблемам удержания плазмы в замкнутых системах, пятое — токамакам, на шестом рассматривались вопросы теории устойчивости и процессов переноса плазмы в тороидальных системах, седьмое заседание было посвящено различным методам нагрева плазмы и восьмое — тороидальному  $\theta$ -пинчу и удержанию плазмы с помощью высокочастотных полей. На заключительном заседании были заслушаны сообщения об итогах проходившей в сентябре 1969 г. в Калеме (Великобритания) конференции по инженерным проблемам термоядерного синтеза и обзоры акад. Л. А. Арцимовича по экспериментальным работам и д-ра Розенблюта (США) по теоретическим работам, представленным на конференцию. Кроме того, в процессе работы конференции происходили неофициальные дискуссии по многим вопросам и, в частности, по стеллараторам и токамакам.

В этой небольшой заметке не представляется возможным дать подробный анализ работ, доложенных на конференции. Поэтому мы проанализируем состояние вопроса по удержанию плазмы в трех типах систем: стеллараторах, токамаках и мультиполях.

Изучение удержания плазмы в стеллараторах интенсивно проводится в СССР, США, Великобритании и ФРГ. На конференции были представлены работы, выполненные на всех действующих установках этого типа. За время, прошедшее с Новосибирской конференции 1968 г., в СССР были введены в строй стеллараторы «Тор-1» и «Тор-2» в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР и «Ураган» — в Харьковском физико-техническом институте. На стеллараторе «Ураган» удалось достигнуть условий, которые должны

заметно уменьшить роль неустойчивостей в диффузии плазмы — величина «перекрещенности» силовых линий, так называемый шир, достигает величины  $\approx 0,1$ .

Изучение удержания проводилось на установках, отличавшихся друг от друга мультиполярностью винтовых полей, геометрическими размерами и величинами напряженности магнитного поля. Кроме того, параметры плазмы также отличались весьма существенно. В качестве ярких примеров можно указать, что в стеллараторе W-II (ФРГ) температура ионов и электронов составляет  $\approx 0,2$  эв и плотность  $10^8$ – $10^9$  см $^{-3}$ , в то время как в стеллараторе «Ураган»  $T_e \approx 25 \div 100$  эв при плотности плазмы  $10^{12}$ – $10^{13}$  см $^{-3}$ . Во всех других экспериментах температуры заряженных частиц и их плотности имели промежуточные значения.

Однако, несмотря на такое сильное различие параметров плазмы и установок, методов создания плазмы и ее нагрева, во всех, или, по крайней мере, в большинстве экспериментов можно отметить общие закономерности.

Превзойдено так называемое бомовское время, которое в течение многих лет считалось пределом времени удержания плазмы в стеллараторах. Начало этому положили работы по удержанию слабостолкновительной плазмы, выполненные в 1965 г. на стеллараторе «Ливень-1» в ФИАНе. Переход к изучению слабостолкновительной плазмы и на других стеллараторах подтвердил эти результаты и позволил добиться удержания плазмы в течение 10–20 бомовских времен, как это было показано в экспериментах, выполненных на установках «Тор-1» (ФИАН, Москва) и Прото-Клео (Калем, Великобритания). Заметим, что гипотетический термоядерный реактор должен работать именно в режиме «редких» столкновений и поэтому изучение удержания такой плазмы является, в определенной степени, моделированием термоядерной плазмы.

Второй общей закономерностью является увеличение наблюдаемого времени  $\tau$  удержания плазмы с ростом угла  $i$  вращательного преобразования силовых линий. Наличие такой зависимости имеет первостепенное значение, ибо указывает на возможность дальнейшего повышения времени удержания плазмы. Вместе с тем эта связь времени удержания и угла вращательного преобразования позволяет, с определенной степенью достоверности, интерпретировать эксперименты в рамках современной теории диффузии в тороидальных системах. Выполненные в последние годы работы по расчетам коэффициентов переноса, обусловленных парными столкновениями, указывают, что в тороидальных системах скорость диффузии частиц во много раз выше, чем в системах с однородным магнитным полем, и что при определенных частотах соударений возникает