

Современные направления экспериментальных исследований по физике защиты

МАШКОВИЧ В. П., ЦЫПИН С. Г.

УДК 621.039—78

В последние годы вклад экспериментальных исследований в общее решение проблем физики защиты от ионизирующих излучений уменьшается по сравнению с теоретическими и расчетными исследованиями. Изменение такого соотношения можно проследить, например, по работам [1, 2]. Так, число докладов, посвященных расчетным исследованиям, на Симпозиуме 1969 г. составляло 60% от общего числа докладов, а в 1974 г. оно увеличилось до 85%.

Вместе с тем ограничения теоретических методов требуют экспериментальной проверки расчетных методов и принятых систем констант. Ряд задач до сих пор не может быть решен расчетным путем в силу ограничений методов.

Современные экспериментальные исследования по физике защиты характеризуются: 1) дифференциацией получаемой информации; 2) все большим вниманием к сложным геометриям задачи (многомерным с гетерогенными защитами); 3) переходом в ряде наиболее завершенных разделов защиты к инженерной практике.

Все проводимые экспериментальные исследования по их направленности можно разделить на две группы: исследования для проверки методов расчетов и систем констант взаимодействия (назовем эти исследования реперными); модельные эксперименты для решения задач, которые в настоящее время нельзя решить расчетным путем в силу ограничений методов расчета или трудности модельного представления. Сейчас все больше развиваются реперные эксперименты и все более справедливым становится утверждение, что «расчет дает нужную информацию, эксперимент — реперную точку».

Наиболее интересными реперными экспериментами, на которых целесообразнее сосредоточить внимание исследователей, являются следующие:

1. Базовые эксперименты (эксперименты типа «бенчмарк»). Они должны проводиться для «чистых» стандартных наиболее элементарных условий. В настоящее время желательно проведение базовых экспериментов для многомерных геометрий среды.

2. Макетные эксперименты, которые проводятся на реальных ядерно-технических установках (реакторах, ускорителях и т. п.) для оценки качества методик расчетов в условиях, соот-

ветствующих реальным. Эти измерения позволяют корректировать методы и вводить корректирующие коэффициенты в результаты расчетов.

3. Полномасштабные эксперименты на действующих ядерно-технических установках. Цель этих экспериментов — проверка возможностей расчетных методик для решения наиболее сложной задачи создания защит реальных установок. Исследования полномасштабных задач существенно осложняются при повышении мерности геометрии. Это приводит обычно к необходимости идеализации поставленной задачи, что в свою очередь требует тщательной экспериментальной проверки допустимости принятой идеализации и определения погрешностей, которые вызываются такой идеализацией.

Ниже приводятся основные направления исследований по физике радиационной защиты в настоящее время.

1. Разработка теоретических методов и программ расчетов на ЭВМ полей ионизирующих излучений. Особое внимание в последние годы уделено развитию методов Монте-Карло и метода дискретных ординат. Комплекс одномерных программ РОЗ, многогрупповая программа расчета двумерной защиты реактора РАДУГА, программы расчета защиты реакторов — хорошая основа для решения многих задач физики защиты. Удачное развитие метода Монте-Карло — его модификации: МД- и МДА-методы расчета полей излучения. Использование этих методов позволяет успешно прогнозировать поля излучений на больших удалениях от источников, в том числе на границе раздела сред земля — воздух и вакуум — воздух.

Отрадно, что появились программы, позволяющие с удовлетворительной точностью прогнозировать поля частиц высоких энергий и электронов. Разработаны первые программы для расчетов на ЭВМ полей излучения в неоднородных средах (защиты с многосекционными каналами, с полостями) и для нестационарных задач.

2. Накопление экспериментальной и расчетной информации о формировании полей излучения в защитах. Созданы специализированные установки для исследования защит. Большая работа выполнена по созданию различных экспериментальных установок на реакторах и ускорителях заряженных частиц. Интересны и, по-

видимому, перспективны для экспериментальных исследований реакторных задач конвертеры нейтронов различных энергий.

Исследованы поля источников γ -излучения. Выполнен цикл работ по изучению пространственного, углового и энергетического распределений γ -излучения для одномерной геометрии защиты. Интересны работы по исследованию изменений полей излучений во времени для импульсных источников квантов, а также по изучению задач глубокого проникновения прежде всего для элементарных источников. Проведены исследования полей источников нейтронов и захватного γ -излучения. К настоящему времени накоплена обширная информация о формировании полей нейтронов разных энергий (в том числе и нейтронов промежуточных энергий) и захватного γ -излучения в различных средах.

Изучены поля источников γ -квантов и нейтронов в воздухе и на границе раздела земля — воздух, вакуум — воздух. Отличительная особенность этих работ — систематичность данных, проведение исследований при больших удалениях от источника, а также для источников разных энергий, в том числе и для γ -квантов низких энергий.

Значительно продвинулись вперед исследования защит ускорителей частиц высоких энергий, интенсивно изучались дифференциальные и интегральные характеристики электронов за толстыми барьерами.

В значительной степени завершено изучение задач альbedo γ -квантов и нейтронов изотопных и реакторных источников. В меньшей степени изучены задачи по определению характеристик квазиальбедного излучения.

Исследовалось прохождение излучений через неоднородности в защите: существенно разработаны методы расчета, основанные на использовании констант макроскопического взаимодействия излучений с веществом. Рассмотрены основные виды каналов для излучений различных типов и энергий, в том числе для промежуточных нейтронов. Большие усилия были направлены на изучение защитных характеристик и радиационной стойкости различных бетонов и строительных материалов, перспективных для использования в защите.

3. Исследование ядерных констант. Здесь интересны выполненные в последние годы работы по подготовке групповых констант и констант для расчетов методом Монте-Карло. Большой цикл работ посвящен экспериментальным исследованиям блокировки резонансной структуры

полных групповых сечений. Интерес представляют исследования по выбору ядерных констант для расчетов вторичного излучения, а также изучение влияния вариаций в сечениях на спектр нейтронов. Серьезные исследования выполнены по определению ядерных констант взаимодействия тяжелых заряженных частиц с веществом.

4. Изучение защит реальных ядерно-технических установок. Большое внимание специалистов было уделено защите ядерных реакторов, прежде всего проблемам радиационной безопасности АЭС, эффективности биологической защиты, исследованию полей излучений в помещениях АЭС, радиационной обстановке при перегрузке горючего, прогнозированию радиационной обстановки при ремонте и профилактических осмотрах.

К настоящему времени ряд проблем физики радиационной защиты можно считать в основном решенным. Для проведения исследований в Советском Союзе созданы и широко используются различные специализированные стенды и установки. Так, большой объем практически важной информации получен на установке на пучке Б-2 реактора БР-5 [3], на конвертере нейтронов деления (КНД) [4] и конвертере промежуточных нейтронов (КПН) [5] реактора БР-5; на стендах ВВР-50 [6], ОР-М [6], РИЗ [3].

Ниже сформулированы основные задачи дальнейших теоретических и расчетных исследований по физике защиты ядерно-технических установок от ионизирующих излучений.

1. Создание комплексных эффективных программ расчетов на ЭВМ задач физики радиационной защиты на основе использования проверенных алгоритмов и программ расчета переноса излучения. При этом особое внимание следует уделить созданию программ для многомерных геометрий, близких к защитам реальных ядерно-технических установок.

2. Разработка программ для оптимизации характеристик защиты с учетом первичной и вторичной радиации. Очевидно, эти задачи невозможно решить без синтетических программ, объединяющих в рамках одной программы различные методы, в частности методы Монте-Карло и дискретных ординат.

3. Создание новых удобных для проведения инженерных расчетов и оценок полуэмпирических методов и концепций расчета биологической защиты и прогнозирования полей излучений в защите и окружающем ее пространстве.

4. Исследования защитных макроскопических констант взаимодействия излучений с веществом (с учетом задач глубокого проникновения) и микроскопических ядерных констант взаимодействия.

При завершении отдельных этапов этих исследований необходимо создание компиляций по рассматриваемым вопросам.

К задачам дальнейших экспериментальных исследований по защите от ионизирующих излучений следует отнести:

1. Создание новых экспериментальных стенов и установок с хорошо известными характеристиками источников излучения, близкими к характеристикам источников реальных ядерно-технических установок, для проведения базовых и макетных экспериментов.

2. Выполнение базовых экспериментов для проверки правильности расчетных методов и используемых систем констант взаимодействия излучений с веществом.

3. Проведение полномасштабных экспериментов на действующих ядерно-технических установках в целях дальнейшего совершенствования методов расчетов и проектирования биологических защит. При этом необходимо создание специальных условий для проведения таких исследований.

4. Проведение базовых экспериментальных исследований по решению задач прохождения излучений через гетерогенные защиты, распространению вторичного и рассеянного излучений в средах, изучению энергетического и дозового составов излучения разного вида в защитах, задач глубокого проникновения, задач оптимизации защиты. В случае проведения макетных и полномасштабных экспериментов сюда следует отнести и задачу о прохождении излучений через неоднородности в защите.

5. Разработка и исследование свойств новых дешевых и перспективных термо- и радиационно-стойких защитных материалов с хорошими

защитными и физико-химическими характеристиками.

К важным задачам в области радиационной защиты следует также отнести изучение путей повышения технико-экономических показателей биологических защит, надежности защиты ядерно-технических установок, решение проблемы снижения дозы облучения персонала АЭС при ремонтных работах и профилактических осмотрах и др.

Перечисленные задачи в той или иной степени относятся к защите различных ядерно-технических установок — источников ионизирующих излучений и должны изучаться применительно к ядерным реакторам различных классов и назначений, ускорителям заряженных частиц, облучательным установкам, приборам и аппаратам с источниками ионизирующего излучения и т.п.

Можно с удовлетворением констатировать, что в нашей стране над решением проблем радиационной безопасности трудится большая группа специалистов. Такому коллективу под силу решение поставленных задач.

Поступил в Редакцию 8/1 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Проблемы защиты от проникающих излучений реакторных установок.** Сборник. Т. 1—7. СЭВ, Мелекес, 1969.
2. **Сборник аннотаций докладов «Исследование вопросов физики защиты реакторов АЭС».** СЭВ, Москва, 1974.
3. **Казанский Ю. А. и др.** Физические исследования защиты реакторов. М., Атомиздат, 1966.
4. **Машкович В. П. и др.** «Атомная энергия», 1967, т. 22, вып. 2, с. 125.
5. **Липунов А. Д. и др.** «Атомная энергия», 1967, т. 23, вып. 6, с. 549.
6. **Мадеев В. Г. и др.** Доклад на первом совещании специалистов по вопросам защиты АЭС «Исследование вопросов физики защиты реакторов АЭС» (Москва, июнь 1974).