

формирования с помощью указанных установок больших полей облучения. Как известно, почти во всех существующих ускорителях большие поля электронного облучения создаются путем рассеяния электронного пучка фольгами. На линейном же ускорителе электронов типа ЛУЭ-25, спроектированном в Научно-исследовательском институте электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова, такие поля создаются с помощью электромагнитных линз. Исследования показали, что при первом методе (т. е. при использовании фольг) происходит уменьшение энергии электронов. Весьма важным представляется и то обстоятельство, что такое уменьшение энергии оказывается неодинаковым при разных условиях облучения. Так, применение различных полей облучения может вызвать уменьшение энергии излучения в пределах от 0,1 до 1,5—2,5 Мэв. Иначе говоря, при использовании в лучевой терапии различных полей даже при одной энергии электронов, приходящих на фольгу, до большого дохода электроны, имеющие разную энергию. Кроме того, при этом происходит уширение энергетического распределения электронов, что ведет к изменению распределения дозы в облучаемом объекте. Важно также, что наличие рассеивающих фольг увеличивает примесь тормозного излучения в электронном пучке. В этом

отношении метод электроннооптического формирования полей, применяемый на отечественном ускорителе электронов (ЛУЭ-25), более перспективен, хотя он требует тщательной настройки системы.

Результаты практической работы позволяют утверждать, что применение излучений ускорителей электронов в достаточной мере удовлетворяет требованиям дистанционной лучевой терапии. Однако данные, накопленные клинической радиологией и онкологией, поставили в настоящее время перед создателями радиологической техники новые задачи.

Задачей разработчиков является создание новых ускорителей, в значительной степени автоматизированных, имеющих универсальные устройства для облучения разных органов и осуществления многих вариантов облучения. В настоящее время в НИИЭФА ведутся разработки таких ускорителей.

Кроме ускорителей электронов, позволяющих получать мощные пучки электронов и рентгеновского излучения, в Советском Союзе разработан метод радиационной терапии протонным пучком высоких энергий, порядка 100—200 Мэв.

В нескольких докладах обсуждались вопросы радиационной безопасности, дозиметрии мощных потоков излучения и некоторые другие вопросы.

Л. Г. ЗОЛИНОВА

## Франко-Советский коллоквиум по технологии реакторов на быстрых нейтронах

С 18 по 28 ноября 1970 г. в Сакле и Кадараше состоялся Франко-Советский коллоквиум по технологии реакторов на быстрых нейтронах. В программу коллоквиума входило также ознакомление Советской делегации с реактором «Рапсодия», строящимся реактором «Феникс», натриевыми стендами для теплофизических исследований различных технологических вопросов и испытания оборудования реакторов в Шату, Гран-Кевилли, Ренардье.

В состав Советской делегации входили О. Д. Казачковский, А. К. Круглов, Л. А. Алехин, Ю. Е. Багдасаров, Д. С. Юрченко, В. П. Кевролев, В. В. Курилкин, А. Н. Егоров. С французской стороны в докладах и дискуссиях приняли участие Карль, Робен, Ледюк, Гужен, Делиль, Ковен, Гажак, Залесский и др.

Из числа обсужденных вопросов наибольший интерес представляют следующие.

1. Опыт экспериментальной отработки различных моделей парогенераторов натрия — вода — пар; разработка конструкций парогенераторов для реактора «Феникс» и будущих АЭС с реакторами на быстрых нейтронах; экспериментальное и расчетное исследование процессов, происходящих во втором контуре при больших разрывах теплопередающих труб; экспериментальное изучение небольших течей. Было отмечено, что при наблюдении необходимых мер по удалению продуктов реакции натрия с водой большая течь в одной из трубок не приводит к разрушению соседних. Проводилось физическое и математическое описание происходящих при этом процессов. Показано, что расчетные и экспериментальные кривые изменения основных параметров (давление, температура) в характерных точках контура (место течи, буферная емкость) удовлетворительно согласуются между собой. Отме-

чена тенденция к осуществлению полномасштабных испытаний модулей парогенераторов на стендах большой мощности и развертыванию работ по подбору и освоению новых конструктивных материалов парогенераторов, коррозионноустойчивых как в воде, так и в натрии с большим содержанием продуктов реакции натрия с водой.

2. Разработка АЭС большой мощности с реакторами на быстрых нейтронах: экономическая оптимизация активных зон, выбор основных конструктивных и компоновочных решений по первому контуру, оптимальные параметры атомной электростанции. Во французских работах характерным является оптимизация параметров только по стоимости вырабатываемой электроэнергии (вопросы получения максимально возможных коэффициентов воспроизводства и минимального времени удвоения считаются второстепенными). В Советском Союзе, как известно, кроме стоимостного критерия обращается внимание также на величину времени удвоения.

3. Опыт проектирования, экспериментальной отработки и эксплуатации основного технологического оборудования: насосы, теплообменники, арматура.

Отмечена противоположная тенденция в осуществлении компенсации температурных расширений труб относительно обечаек промежуточных теплообменников. В то время как в СССР и в большинстве зарубежных стран указанная разность в расширениях компенсируется за счет гнба на трубках, французские специалисты считают возможным оставлять теплопередающие трубки прямыми. Это оказалось возможным потому, что максимальная разность температур между элементами конструкции не только в стационарных, но и в любых возможных переходных процессах.

согласно проведенным расчетам, не превышает  $24^{\circ}\text{C}$ . Тепловые испытания кожухотрубных теплообменников, проведенные во Франции, показали весьма хорошее (расхождение около 1%) согласие опытных и расчетных коэффициентов теплопередачи. Отмечена удовлетворительная работа задвижек для натриевых контуров с замораживающим поясом по шток. На совещании подчеркивалась целесообразность конструирования насосов с двумя всасывающими патрубками.

4. Опыт работы твэлов в реакторах БР-5 и «Рапсодия». Была отмечена весьма удовлетворительная работа твэлов из монокарбида урана в БР-5 и окисных твэлов реактора «Рапсодия». Как известно, длительный опыт эксплуатации реактора БР-5 на окисном горючем (первая загрузка) с выгоранием до 7% позволил получить необходимые данные для обоснования твэлов реакторов БН-350 и БН-600. Положительный опыт с окисным горючим, накопленный на реакторе «Рапсодия», подтверждает выводы, полученные в результате эксплуатации БР-5.

В советском сообщении на основании опыта работы БР-5 указано на значительно лучшую работоспособность стали ОХ16Н15 МЗБ по сравнению со сталью ОХ18Н9Т при использовании этих типов сталей для оболочек монокарбидных твэлов.

Отмечено большое сходство в кривых нарастания активности в контурах реакторов БР-5 и «Рапсодия» при появлении негерметичных твэлов. Характер разрушений оболочек окисных твэлов обоих реакторов и состав загрязнений в газовой подушке также примерно одинаковы.

5. Опыт эксплуатации реактора «Рапсодия» и пуско-наладочных работ реактора БОР-60. Удовлетворительная работа реактора «Рапсодия» позволила наметить и осуществить ряд мероприятий и переделок, которые дают возможность в ближайшее время после замены топливных сборок повысить его мощность до  $38\text{--}42\text{ Мвт}$ . Опыт работы перегрузочной машины реактора «Рапсодия» показал нецелесообразность конструирования многоцелевой машины. В настоящее время ее функции разделены между тремя образцами более простыми и более работоспособными устройствами (для выгрузки выгоревшихборок, загрузки свежего топлива и перегрузочных работ, связанных с экспериментами).

Опыт пуско-наладочных работ, физические и технологические исследования на реакторе БОР-60 показали приемлемость принятых на стадии проектирования технических решений и возможность форсированного выхода на номинальные параметры.

6. Опыт строительства и монтажа АЭС с реакторами на быстрых нейтронах БН-350 и «Феникс». Строительство АЭС «Феникс» идет быстрыми темпами. Строительные работы выполнены примерно на 80%. Одновременно осуществляется монтаж основного оборудования: установлены все три бака реактора (корпус и две страховочные емкости), смонтированы сливные емкости для натрия первого и второго контуров. Заполнение натрием первого контура и начало пусковых работ намечено осуществить во второй половине 1972 г. Как известно, на советском энергетическом реакторе БН-350 монтаж в основном намечено закончить в 1971 г. и в конце этого же года начать пусковые работы.

Во Франции большое внимание уделяется работам, направленным на создание надежных парогенераторов для АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Это объясняется тем, что парогенераторы являются одним из глав-

ных источников неисправностей, приводящих к уменьшению коэффициента готовности станции. В Сакле проводятся конструктивные разработки различных типов парогенераторов. Испытываются модели парогенераторов на стендах в Гран-Кевилли, Шату, Ренардье, изучаются теплогидравлические процессы на экспериментальных установках в Шату, исследуются небольшие течи воды и пара в натрий межтрубной полости парогенераторов, разрабатываются методы индикации этих течей в Кадараше и Шату; в Кадараше проверяется стойкость теплопередающего пучка моделей и натурных модулей при имитации больших разрывов с попаданием воды в натрий при расходах воды до  $17\text{ кг/сек}$  и др.

Летом 1970 г. в Ренардье введен в эксплуатацию стенд для испытания парогенераторов с газовым нагревом мощностью  $50\text{ Мвт}$ . Температура на выходе составляет  $600^{\circ}\text{C}$  (кратковременно допускается  $650^{\circ}\text{C}$ ). В первом контуре установлены два насоса. Стенд оснащен двумя байпасами, на одном из них установлен воздушный теплообменник, который может отводить до  $15\text{ Мвт}$ . Имеется возможность испытывать парогенераторы при быстрых изменениях температуры натрия (до  $150^{\circ}\text{C}$  за  $10\text{ сек}$ ). В стенд загружено  $105\text{ т}$  натрия. Для сброса продуктов реакции натрия с водой используется циклонный сепаратор емкостью около  $20\text{ м}^3$ . Водяная часть стенда позволяет получать пар с параметрами  $160\text{ атм}$  и  $565^{\circ}\text{C}$  и имитировать все секции парогенератора (подогрев, испарение, перегрев, промперегрев). Сброс тепла после нескольких ступеней дросселирования пара осуществляется в градирне.

Во время посещения советской делегацией стенда три модуля парогенератора реактора «Феникс» уже отработали около  $800\text{ ч}$  на номинальных параметрах.

В Кадараше проведено 60 опытов при небольших течах воды в натрий и два опыта с подачей пара в натрий. Параметры воды и пара, а также материалы и геометрия подбирались близкими к параметрам, которые характерны для парогенераторов реактора «Феникс». Однако окончательные результаты с обработкой опытов еще не получены. Предварительные выводы таковы: течь воды  $0,04\text{ кг/мин}$  и меньше не опасна, парогенератор может работать с такой течью без заметной коррозии по крайней мере несколько часов. Результаты двух опытов по истечению пара с параметрами  $500^{\circ}\text{C}$  и  $170\text{ атм}$  в натрий с температурой  $500^{\circ}\text{C}$  показали: впрыск пара с расходом около  $1\text{ кг/мин}$  приводит к образованию отверстия в мишенной трубке (расположенной на расстоянии  $15\text{ мм}$ ) за  $3\text{ мин}$ . Объем стенда для исследования небольших течей составляет  $3\text{ м}^3$  по натрию.

В дополнение к уже опубликованным результатам по изучению больших течей воды в натрий на моделях за последнее время проведено шесть полномасштабных опытов непосредственно на штатном модуле парогенератора реактора «Феникс». Модуль расположен рядом со зданием по изучению течей воды в натрий на открытой площадке без каких-либо ограждений и соединен с системами здания соответствующими коммуникациями. В каждом опыте из специального быстротворящегося сопла на корпусе модуля подавалась вода со средним расходом примерно  $17\text{ кг/сек}$  в течение  $15\text{--}20\text{ сек}$ ; струя воды направлялась на теплопередающую трубку. Ни в одном из экспериментов не было разрыва трубок парогенератора или существенного их повреждения; система отвода продуктов реакции срабатывала хорошо.

Проведенный коллоквиум и посещение исследовательских центров Франции позволяет сделать следующие общие выводы.

1. Основные исследовательские работы в области атомной энергетики по линии КАЭ Франции сосредотачиваются на решении проблем, связанных с быстрыми реакторами; в соответствии с этим и распределяются финансы.

2. Единственным типом реактора на быстрых нейтронах при разработке энергетического прототипа принят реактор с натриевым теплоносителем и с интегральной компоновкой оборудования первого контура.

3. Осуществляется весьма тесное сотрудничество КАЭ Франции с EDF: разработка реакторов на быстрых нейтронах проводится по совместно составленным программам. EDF своими силами осуществляет большой комплекс проектных работ и научных исследований, связанных с применением натрия и испытанием натриевого технологического оборудования.

4. Большое внимание уделяется обмену опытом сооружения быстрых реакторов и популяризации этого направления энергетики. На это указывает, в частности, намерение КАЭ Франции провести перед IV Международной Женевской конференцией в Экс-Провансе совещание представителей ведущих стран с обсуждением проблем развития АЭС с реакторами на быстрых нейтронах.

5. Опубликованные ранее сроки строительства и ввода в действие важнейших объектов, связанных с проблемой быстрых реакторов, либо выдерживаются, либо опережаются («Рапсодия», «Феникс», стелс мощностью 50 Мвт), чему способствует четкая организация работ и своевременная поставка оборудования промышленности.

Ю. Е. БАГДАСАРОВ, О. Д. КАЗАЧКОВСКИЙ

## Использование ядерных методов для измерения и контроля за загрязнением окружающей среды

26—30 октября 1970 г. в г. Зальцбурге МАГАТЭ был организован симпозиум по использованию ядерных методов для измерения и контроля загрязнения окружающей среды, в котором приняло участие около 200 экспертов, представляющих более 30 стран и многие международные организации (ВОЗ, ВМО и пр.). На симпозиуме присутствовали также ученые Советского Союза и других социалистических стран. Было заслушано 55 докладов, в которых затронуты почти все возможные сферы применения ядерных методов для измерения загрязнения внешней среды: измерение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере, идентификация загрязняющих веществ в воде, движение загрязняющих веществ в воде и грунте, методы изотопных индикаторов в изучении сбросов, ядерные методы и экосистемы, шламы и обработка сточных вод.

Применение ядерных методов для контроля за загрязнением окружающей среды началось около 15 лет назад. Благодаря совершенствованию и автоматизации средств измерения стало возможным широкое использование этих средств специалистами санитарных служб.

На симпозиуме обсуждались проблемы использования нейтронного активационного анализа, метода изотопных индикаторов и радиоизотопных измерителей и других приборов (рентгенофлуоресцентные методы, детекторы электронного захвата и др.) для контроля концентраций вредных веществ, а также некоторые аспекты применения мощных источников ионизирующих излучений для обработки и обезвреживания сточных вод.

Почти половина докладов была посвящена использованию активационного анализа, в основном нейтронного активационного анализа для определения и контроля вредных примесей в воде, почве и воздухе.

Процедура исследования состава проб окружающей среды с помощью активационного анализа состоит из следующих стадий: отбора проб; приготовления образцов для облучения; облучения образца; измерения наведенной активности с использованием метода сравнения с известным образцом или гамма-спектрометрии. Перед последней стадией для повышения чувстви-

тельности, иногда применяется химическое разделение, а также временная выдержка пробы.

Возможности использования нейтронного активационного анализа при изучении природы аэрозольных частиц представлены в таблице.

Для регистрации  $\gamma$ -спектров применяют сцинтилляционные детекторы и полупроводниковые Ge(Li)-детекторы и многоканальные анализаторы (на 4096 каналов). В некоторых работах для обработки информации, поступающей непосредственно с блоков детектирования или с многомерных анализаторов, намечается тенденция к использованию вычислительных машин. При обработке результатов пользуются библиотекой стандартных спектров, известно также использование фоновых спектров подложек проб, причем выбор подложки (например, аэрозольного фильтра) ведется с учетом задач, стоящих перед исследователями. Применение активационного анализа позволяет измерять ультрамалые количества аэрозолей (до  $10^{-9}$  г/м<sup>3</sup>).

Несколько докладов было посвящено использованию нейтронного активационного анализа для обнаружения ртути в воде, биологических пробах, почвах и растениях. Обращается внимание на опасность, которую несет ртуть, попадая в водоемы в виде отходов химической и целлюлозно-бумажной промышленности.

Отмечалось, что применение нейтронноактивационного анализа имеет очень большие перспективы при изучении состава микроэлементов в нефтяных продуктах, загрязняющих моря и океаны, и прослеживании кругооборота элементов, входящих в состав пестицидов и гербицидов.

На симпозиуме подчеркивалось, что использование изотопных индикаторов имеет очень важное значение для получения информации о поведении и судьбе веществ, загрязняющих атмосферу, воду и почву.

Представляет интерес метод, основанный на изотопном отношении  $S^{32}$  и  $S^{34}$ . Он применяется для индикации, обнаружения и распространения окиси серы в крупных городах и вокруг них. Для изучения дисперсий выбросов дымовых газов в качестве метки используются  $Ar^{41}$ ,  $Kr^{85}$ ,  $Xe^{133}$ .