

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», стенд мощностью 50 Мвт), чему способствует четкая организация работ и своевременная поставка оборудования промышленностью.

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 (рентгенофлюоресцентные методы, детекторы электронного захвата и др.) для контроля концентраций вредных веществ, а также некоторые аспекты применения мощных источников ионизирующего излучения 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 γ -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/м³).

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} .

Использование нейтронноактивационного анализа для изучения природы аэрозольных частиц в воздухе

Исследователь (дата публикации)	Цель изучения	Техника отбора проб	Поток, нейтр/см ² /сек	Время облучения	Метод анализа	Идентифицированные элементы	Концентрация, мг/м ³
Фрайнд (1961 г.) *	Концентрация радиоактивных частиц в стратосфере	Импактор и фильтр, размещенные на самолете У-2	~ 10 ⁻¹²	Различное	Метод сравнения **	Ni, Pb, Co, Mn, Cr, Cu, Fe, Zn, Co	
Гаррас (1962 г.)	Использование стабильных трассеров и нейтронноактивационного метода в коммерческих целях		5·10 ⁻¹³	4 дня		Ag, Ho, Sm	
Паркинсон (1963 г.)	Для изучения природы аэрозольных частиц	Насос, фильтр-ватман 41	1,8·10 ¹¹	3—100 мин	Анализ кривых спада, активности и фотопиков ***	Al, Ba, Cl, I, Mg, Mn	
Доке (1963 г.)	Геохимия галогенов	Сетка из серебряных прутьев	~ 10 ¹³	20 мин	Метод сравнения **	Br, Cl, I	
Гардон (1964 г.)	Изучение аэрозолей	Насос, эфироцеллулоидный фильтр	8,6·10 ¹²	15 мин	Метод сравнения ***	Br Mn Na	0,22 0,04 0,51
Винчестер (1965 г.)	Геофизика галогенов	Четырехкаскадный импактор	10 ¹³	20 мин	Метод сравнения **	Br Cl I	0,015 4,0 0,002
Линингер (1966 г.)	Геофизика галогенов и свинца	Четырехкаскадный импактор	10 ¹³	20 мин	Метод сравнения **	Br Cl I Pb	0,2 6,0 0,01 0,22
Ли (1968 г.)	Изучение аэрозолей	Насос, миллипор-АА	1,7·10 ¹³	2—3 дня	Метод сравнения **	Ag As Br Ca Co Cu Fe Hg La Na Sb Sc Zn	4,5×10 ⁻² 3,3×10 ⁻² 0,17 3,4 5,2×10 ⁻³ 2,5×10 ⁻² 0,65 2,5×10 ⁻⁴ 2,3×10 ⁻⁵ 0,65 4,9×10 ⁻³ 6,8×10 ⁻³ 0,33
Кери (1969 г.)	Изучение аэрозолей	Насос, фильтр	1,2·10 ¹³	5 мин	Система GASP***	Al Br Cl Mn Na V	0,3 0,04 2,0 0,03 0,8 0,015
Бро (1969 г.)	Изучение аэрозолей	Целлулоидная сетка X-1215-2	2·10 ¹³	1 мин	Система Нелсена ***	Al Br Cl Mn Na V	2,0 0,17 3,0 0,6 0,4 0,06

* В скобках указана дата окончания исследований.

** С разделением.

*** Без разделения.

Для изучения дисперсии водяных сбросов и выбора места сбросов радиоактивной меткой может служить, например, S^{35} , Br^{82} , J^{131} , а также неактивные соединения индия, придия и хлористые соединения золота, которые затем активируются нейтронами. Были рассмотрены методы разовой и непрерывной инъекции активных изотопов в водной среде, а также методы и аппаратура для измерения активного следа в воде. При этом обра-

щались внимание на необходимость одновременного измерения скорости течения и скорости ветра, определения координат расположения детекторов излучения в момент измерения.

Определенный интерес вызвали доклады, в которых намечены пути для обработки некоторых типов сточных вод с помощью мощных источников ионизирующих излучений.

Л. В. АРТЕМЕНКОВА

Поездка советских специалистов по ядерной энергетике в Нидерланды и Бельгию

В сентябре 1970 г. в Нидерландах и Бельгии побывала группа советских специалистов в области физики и техники ядерных реакторов, которая ознакомилась с научными центрами и университетами, ведущими исследования по физике реакторов, теплопередаче и гидродинамике. Делегация посетила также две действующие АЭС и несколько заводов и фирм, занимающихся проектированием, изготовлением и испытанием оборудования АЭС.

В Нидерландах советские специалисты побывали в Реакторном центре Нидерландов (RCN) в Петтене, в Технологическом университете в Эйндховене, в лабораториях фирмы «КЕМА» в Арнеме, в Высшей технической школе в Дельфте, на первой в Нидерландах АЭС в Додеварде и на заводе фирмы RDM (Роттердам), производящем корпуса высокого давления. В Бельгии делегация посетила ядерное отделение фирмы «АСЕС» в Шарлеруа, франко-бельгийскую АЭС SENA в Арденнах, Центр ядерных исследований в Моле и фирму «Бельгиануклер» в Брюсселе.

Советские специалисты ознакомились с работами по следующим проблемам: 1) теплогидравлическим расчетам и экспериментам; 2) расчетным исследованиям безопасности АЭС; 3) экспериментам по физике реакторов на критических сборках и физическим расчетам; 4) эксплуатации и ремонту оборудования на действующих АЭС.

1. Теплогидравлические расчеты реакторов в фирмах «АСЕС» и «Бельгиануклер» основаны на анализе пространственного распределения весовой скорости, паросодержания, давления, температуры и энтальпии теплоносителя по реактору с помощью программ «НАМВО» и «КОВРА» или аналогичным им. При определении критических параметров (тепловой поток или паросодержание) в расчет принимается неблагоприятное сочетание таких факторов, как мощность реактора, расход, температура и скорость теплоносителя, а также возможные ошибки используемых соотношений. Однако даже в этом случае нет уверенности в том, что определенный запас до кризиса окажется достаточным, так как используемые соотношения не полностью учитывают условия реальной конструкции. В связи с этим представляет интерес метод определения безопасных условий работы реактора, предложенный Хоппе (фирма «Бельгиануклер»). Метод основан на детальном статистическом анализе экспериментов по критическим нагрузкам и позволяет для конкретных условий определить вероятность возникновения кризиса теплообмена при любой мощности активной зоны.

Для проверки и корректировки тепловых и гидравлических расчетов проводятся многочисленные экспериментальные исследования. Большое внимание уделяет

ся изучению гидродинамики однофазных и двухфазных потоков. В Технологическом университете Эйндховена исследуется перемешивание потока в пучке стержней между отдельными струями при естественной и принудительной циркуляции. Изучение двухфазного потока и распределения фаз в пучке в зависимости от давления, расхода и недогрева теплоносителя на входе проводится на стенде мощностью до 2 Мвт с длиной исследуемого участка до 4 м, при давлении до 300 кг/см². В лаборатории имеется специальная петля низкого давления (10 кг/см²) для изучения перемешивания потока в каналах.

Подробно изучается устойчивость течения кипящей воды в параллельных каналах при естественной и принудительной циркуляции. Обнаружено, что процесс перемешивания между соседними струями каждой из фаз происходит независимым образом: перемешивание паровой фазы подчиняется закону Фика, а перемешивание жидкой фазы определяется перепадом давления между струями (это в принципе отличается от представлений общеизвестной программы «НАМВО»).

На стенде фирмы «АСЕС» проведено исследование критического теплового потока при давлении 157 кг/см² в диапазоне расходов (2,5—25) · 10⁶ кг/м² · час, теплосодержаниях на входе более 200 ккал/кг, при весовых паросодержаниях до 15%. Результаты экспериментов согласуются с общеизвестным соотношением Тонга.

В RCN проводится изучение кризиса теплообмена в пучках стержней длиной 1 м при недогреве 0—11° С и паросодержаниях до 10%. Эксперименты выполняются на стенде мощностью 850 квт, что позволяет создавать тепловые нагрузки до 300 вт/см² при температуре теплоносителя до 350° С, давлении до 260 кг/см² и расходах до 4 кг/сек. На этом стенде были проведены испытания стержней в условиях кризиса в течение 300 ч (кризис характеризовался скачком температуры на поверхности ~100° С).

Весьма интересны экспериментальные исследования компенсаторов объема (к. о.), проводимые лабораторией Дельфтского университета, располагающей для этих целей самой крупной в Западной Европе и Америке экспериментальной базой. В лаборатории стремятся достичь таких характеристик паровых к. о., которые позволили бы отбраковать сброс нагрузки реактора с 100 до 30% номинальной мощности при объеме воды в к. о. 10% объема первого контура и соотношении объемов воды и пара в к. о. 1 : 1.

2. Расчетные исследования безопасности АЭС проводятся фирмой «АСЕС». Для реакторов типа PWR рассматриваются две основные аварии: разрыв трубопроводов первичного теплоносителя и разрыв паропровода. Исследования выполняются применительно