

параметров газоохлаждаемых быстрых реакторов, сравнительные расчеты физических характеристик быстрых реакторов на натрии, гелии и N_2O_4 . Исследовано и выявлено значительное влияние физических характеристик быстрого реактора с N_2O_4 на снижение потребности в природном уране развивающейся ядерной энергетики. В результате освоения N_2O_4 при 150—170 ат и 450—500°С на действующих стендах, экспериментальных исследований ее теплофизических характеристик и испытаний конструкционных и топливных материалов показана техническая возможность достижения в газоохлаждаемых быстрых реакторах на N_2O_4 удельных теплонапряженностей 1000—1200 кВт/л, высоких характеристик воспроизводства ядерного горючего ($K_B = 1,5 \div 1,6$; $T_2 = 4,5 \div 5$ лет).

Выполненные исследования позволили разработать технические предложения по одноконтурной АЭС мощностью 1000—1200 МВт (эл.), включающие выбор и обоснование параметров тепловой схемы (150 ат, 450°С) газоохлаждаемого быстрого реактора на N_2O_4 , теплообменного оборудования, газовой турбины, насосов, вспомогательных систем, разработать вопросы технологии и безопасности АЭС.

Широкое обсуждение на конференции получили проектируемые характеристики АЭС БРИГ-75 [максимальный поток быстрых нейтронов $7 \cdot 10^{15}$ нейтр./ $(см^2 \cdot с)$, размеры кассеты, тепловая мощность реактора 250 МВт]. Признано, что выбранные параметры достаточно представительны для ресурсных испытаний горючего и кас-

сет реактора типа АЭС БРГД-1000-1500 МВт (эл.), а газовая турбина на N_2O_4 должна быть укрупнена до 75—100 МВт с сохранением по условиям безопасности при одноконтурной схеме АЭС трех-четырёх петлевых контуров охлаждения реактора.

На пленарных заседаниях, секциях и рабочих группах отмечалось, что уровень научно-технических и проектных разработок, степень изученности теплофизических и технологических свойств N_2O_4 , число успешно работающих в течение нескольких лет крупномасштабных тепловых стендов и реакторных петлевых установок показывают возможность разработки технического проекта АЭС БРИГ-75. Отмечено также, что за истекшие годы в работах по диссоциирующим газам плодотворно сочетались фундаментальные исследования, научно-технические разработки и принципиально новые проектные решения. Признана перспективность продолжения работ по АЭС с быстрыми реакторами на N_2O_4 , необходимость расширения научно-исследовательских работ по комплексному изучению теплофизических и технологических свойств модифицированного диссоциирующего теплоносителя, разработки проекта перспективной АЭС с газоохлаждаемыми быстрыми реакторами на N_2O_4 мощностью 1200—1500 МВт (эл.) и дана рекомендация по ускорению создания опытно-промышленной АЭС БРИГ-75. Выделены главнейшие направления исследований в X пятилетке и установлен срок следующей конференции — 1978 г.

НЕСТЕРЕНКО В. Б.

Первая европейская ядерная конференция

С 21 по 25 апреля 1975 г. в Париже проходила Европейская ядерная конференция — первая конференция Европейского ядерного общества. Девиз конференции — «зрелость ядерной энергии». В конференции приняли участие около 3 тыс. человек из 47 стран. Доклады были как заказные, так и предложенные самими участниками. Заказные доклады заслушивались на пленарных и специальных секционных заседаниях, предложенные — на дополнительных параллельных секционных заседаниях.

На открытии конференции с приветственным словом выступил премьер-министр Франции Ж. Ширак.

В докладах, представленных на пленарные заседания, обсуждались следующие вопросы: потребности в энергии и ресурсы; роль ядерной энергетики в производстве энергии и достижения; размещение и окружающая среда; безопасность и защита; снабжение горючим (ураном, плутонием, торием); циклы облученного горючего; другие применения (кроме производства электроэнергии); стоимость строительства АЭС; стоимость эксплуатации АЭС; тяжеловодные реакторы, опыт их эксплуатации; легководные реакторы, опыт эксплуатации; газоохлаждаемые реакторы, опыт эксплуатации; высокотемпературные реакторы, опыт эксплуатации; опыт эксплуатации прототипных быстрых реакторов «Феникс» и «Дунрей»; промышленное и коммерческое применение быстрых реакторов в различных странах.

На дополнительных заседаниях (сессиях) рассматривались: проекты и конструкции; опыт эксплуатации; создание компонентов активной зоны; обращение с горючим; ядерная безопасность и защита; гарантия качества и надежность; изготовление горючего; переработка,

транспортирование и обращение с радиоактивными отходами; низко- и высокотемпературное технологическое тепло; гидродинамика и теплопередача. На специальных сессиях с приглашенными докладчиками обсуждались: лицензирование; синтез; специальные применения (ядерные суда, взрывы в мирных целях и др.); методы обогащения; финансирование и страхование; обучение и тренировка персонала.

Всего на конференцию было представлено примерно 500 докладов, Организационный комитет отобрал около 350 докладов. До начала конференции был издан сборник расширенных аннотаций всех докладов. Доклады или тезисы докладов пленарных заседаний и полные тексты докладов на дополнительных секциях не распространялись. К осени 1975 г. предполагается издание материалов конференции в двух томах издательством «Пергамон Пресс».

Основное внимание собравшихся концентрировалось на пленарных заседаниях. Дополнительные сессии проходили одновременно по 11—13 различным темам и предоставляли возможность докладчикам лишь кратко охарактеризовать сведения, содержащиеся в докладах. Структура и содержание пленарных заседаний раскрывают целевую направленность конференции и характер основных проблем, интересующих специалистов ядерной энергетики в различных и прежде всего в европейских странах.

Наибольшее внимание на конференции было уделено масштабам развития ядерной энергетики и топливным ресурсам, сопоставлению различных путей развития ядерной энергетики и роли реакторов-размножителей, экономике ядерной энергетики и ее производственному обеспечению, кооперации разных стран и стандартиза-

ции технических решений и организационных форм, безопасности ядерной энергетики, влиянию на окружающую среду, проблемам перевозки горючего, захоронению отходов, защите станций от диверсий и саботажа, проблемам формирования благоприятного общественного мнения относительно ядерной энергетики.

На конференции в основном собрались практики и организаторы ядерной энергетики, чтобы продемонстрировать свои достижения, определить целесообразные формы сотрудничества и провести широко пропаганду в пользу ядерной энергетики в условиях крайне неблагоприятного общественного мнения и растущего противодействия по отношению к ней в большинстве капиталистических стран при одновременной объективной необходимости увеличения ее роли в промышленности, расширении сфер применения и фактическом росте масштабов. Весьма специфичным было обсуждение практических вопросов, связанных с расширением масштабов ядерной энергетики и направленных на рациональную организацию производства и эксплуатации (стандартизация, организация и унификация ремонта оборудования и обслуживания, подготовка персонала, упрощение процедуры лицензирования и т. п.). В докладе Генерального директора Евратома Ф. Спаака анализируются тенденции роста потребления различных энергетических ресурсов в мире, увеличение энергопотребления в разных странах и районах мира, запасы различных источников энергии и делается заключение о масштабах развития ядерной энергетики в странах Европейского сообщества к 1985 г. Первоначально предполагалось, что доля ядерной энергетики составит 9%. В настоящее время в связи с изменившимися условиями на нефтяном рынке эта цифра пересматривается и увеличивается до 13—16%. Председатель КАЭ Франции А. Жиро, основываясь на том, что в условиях Франции приведенная стоимость электроэнергии от АЭС будет составлять к 1977 г. 0,98, а к 1979—1980 г. 0,51—0,55 от стоимости энергии, получаемой при использовании обычного топлива, рассматривает различные модели развития ядерной энергетики, необходимые ресурсы природного урана и мощности обогатительной промышленности. В докладе изложено несколько вариантов развития ядерной энергетики с использованием только легководных реакторов и различных сочетаний быстрых реакторов-размножителей с легководными, высокотемпературными и тяжеловодными.

Доклад А. Анжелини (президента Итальянского национального комитета по электроэнергии) был посвящен рассмотрению всех сторон проблемы ядерного горючего: ресурсам, обогащению урана, изготовлению твэлов, использованию плутония в тепловых реакторах, стандартизации горючего, роли быстрых реакторов-размножителей в изменении потребности в уране, уран-ториевому циклу. Суммарная потребность в уране к 1990 г. возрастет до 1,5—2 млн. т, а к 2000 г. до 3,5—5 млн. т. Оцениваемые ресурсы урана при затратах на добычу до 33 долл./кг U_3O_8 достаточны для того, чтобы уверенно наращивать мощности ядерной энергетики.

В настоящее время систематические поиски урана идут на относительно малой части земной поверхности; дальнейшие усилия, безусловно, приведут к открытию новых месторождений, хотя стоимость извлечения урана может возрасти. Чтобы имеющиеся ресурсы соответствовали потребностям, необходимы технические и финансовые усилия. К 2000 г. в добычу урана должно быть вложено несколько десятков миллиардов долларов, хотя это составит небольшой процент от общих затрат на развитие ядерной энергетики. Возмож-

ная роль уран-ториевого цикла в последующие 15—20 лет оценивается как ограниченная. По долговременному плану при предполагаемом росте стоимости урана можно ожидать повышения интереса к торию.

Г. Мандель (ФРГ) анализирует тенденции изменения экономических показателей АЭС, в первую очередь на примере АЭС ФРГ. К 1980 г. ожидается, что стоимость электроэнергии от АЭС мощностью 1300 МВт будет в два раза меньше, чем от тепловой станции на твердом топливе мощностью 730 МВт. Обсуждаются все составляющие, обуславливающие повышение стоимости сооружения АЭС. С 1968 по 1974 г. стоимость различных элементов станции повысилась в два-три раза. Например, с 1971 по 1974 г. парогенератор стал дороже на 30%, корпус реактора на 60%, защитная оболочка на 30% и т. д. Увеличение сроков сооружения АЭС на 15 месяцев (с 63 до 78 месяцев) повышает стоимость производства электроэнергии на АЭС более чем на 10%, что соответствует увеличению почти на 20% контрактной стоимости АЭС. Задержка начала эксплуатации АЭС мощностью 1300 МВт в условиях ФРГ приводит к перерасходу 800 000 марок/сут.

Л. Миник (США) в докладе об опыте эксплуатации легководных реакторов в США обращает внимание на то, что сейчас в США получено разрешение на эксплуатацию 51 водяного энергетического реактора, причем в последние восемь лет в среднем ежегодный прирост ядерных мощностей составлял 60%. Это создало свои трудности. В результате средняя мощность в 1 МВт находится в работе (от момента получения разрешения) менее трех лет. Максимального значения (шесть лет) этот показатель достиг в 1967 г. Сейчас в США принято считать, что зрелость АЭС достигается после второй перегрузки горючего. Средний коэффициент нагрузки всех станций с начала их коммерческой эксплуатации составляет 57%, а для станций, прошедших вторую перегрузку, он равен 74%. Отмечается, что при переходе от индивидуального производства твэлов и сборок к массовому надежность их работы ухудшилась, в частности проявился фактор загрязнения горючего посторонними примесями.

В других докладах, освещающих опыт эксплуатации легководных реакторов, приводятся значения коэффициентов нагрузки АЭС в странах (не входящих в Евратом) за весь период их эксплуатации до конца 1974 г. Так, для тяжеловодных реакторов он равен 69,7%; для газоохлаждаемых 65,1%; для легководных под давлением 61%; для легководных кипящих 57,6%. Обращается внимание на важность решения многих эксплуатационных вопросов: дезактивацию, уменьшение доз, получаемых персоналом во время ремонта, оптимизацию принципов ремонта оборудования, обеспечение ремонтной базы, запчастей, подготовку эксплуатационного персонала на тренажерах. Обсуждаются различные дефекты оборудования, в том числе различные причины повреждения парогенераторов.

Из сообщений об опыте эксплуатации реакторов других типов следует, что в английском тяжеловодном канальном кипящем реакторе на второй год эксплуатации вышло из строя шесть каналов. Пуск первой коммерческой станции с таким реактором мощностью 660 МВт ожидается к 1983 г.

В канальном реакторе АЭС «Пикеринг» (Канада) было заменено 17 труб (каналов). В ближайшее время в Канаде не ожидается, что реакторы будут работать в режиме регулирования нагрузки. Высокотемпературный реактор «Пич-Боттом» (США) был остановлен после 400 суток работы на мощности 30 МВт. Наблюдалась повышенная активность ^{137}Cs . В дальнейшем это

реактор эксплуатироваться не будет из-за неэкономичности. Высокотемпературный реактор «Форт-Сент-Врейн», который длительное время после физического пуска не выводился на мощность из-за утечек гелия через циркуляторы, выведен на мощность 50%. Обсуждается возможность дальнейшего повышения мощности.

В докладе руководителя Международного института прикладного системного анализа В. Хефеле рассмотрены перспективы других применений атомной энергии, кроме получения электричества. Потребность в электричестве как в конечной форме энергии составляла в 1970 г. лишь 10% от всего энергопотребления в мире. Ожидается, что в 1985 г. эта цифра составит 14%, а в 2000 г. — 21%.

На пленарных заседаниях обсуждались также вопросы размещения АЭС, защиты окружающей среды, безопасности и защиты АЭС.

Наряду с традиционными проблемами безопасности

(уменьшением теплового и радиационного воздействия АЭС, выбором площадок) большое внимание было уделено защите АЭС от террористов. Возможность такого способа выведения АЭС из строя и последующего радиационного воздействия на окружающую среду и население рассматривается очень серьезно. Вероятно, острота постановки такого вопроса связана с противодействием развитию ядерной энергетики во многих капиталистических странах. Как бы подтверждением серьезности этой проблемы явилась диверсия (взрыв двух бомб) на одной из АЭС во Франции через несколько дней после окончания конференции.

Проведенная конференция, безусловно, была важным событием в международном сотрудничестве в области ядерной энергетики на новом этапе ее развития, который справедливо охарактеризован девизом «зрелость атомной энергии».

СИДОРЕНКО В. А.

Международный симпозиум по надежности атомных электростанций

С 14 по 18 апреля 1975 г. в Инсбруке (Австрия) проходил симпозиум МАГАТЭ по надежности АЭС. В работе симпозиума приняли участие 203 специалиста из 40 стран и восьми международных организаций. Было заслушано 48 докладов. Большая часть докладов (22 доклада) была посвящена методическим вопросам расчетов надежности и применению анализа надежности при проектировании систем АЭС. В докладах обсуждались способы расчета характеристик надежности при отсутствии достоверных статистических данных, приводились результаты анализа надежности систем, связанных с обеспечением безопасности АЭС: СУЗ, электроснабжения, аварийного расхолаживания и т. п. Во многих странах развиваются математические методы анализа надежности АЭС, разрабатываются программы расчета для ЭВМ. Единой проверенной методики расчета надежности АЭС в настоящее время пока нет. В связи с отсутствием достоверных статистических данных по оборудованию АЭС при анализе надежности рекомендуется применять статистические данные о соответствующем оборудовании для обычных электростанций. При проектировании АЭС необходим не только качественный, но и количественный анализ всех систем и узлов АЭС с точки зрения надежности работы. Такой анализ позволит выбрать наилучший вариант схемы, определить критические компоненты, замена которых приведет к существенному росту показателей надежности АЭС в целом. Таким образом, при минимальных затратах можно значительно улучшить экономические характеристики станции.

В 10 докладах приводятся статистические данные о работе оборудования и систем АЭС, обсуждается применение ЭВМ для сбора, хранения и использования данных о работе оборудования. Видно, что в ряде стран уделяется большое внимание сбору статистических данных о работе АЭС. В США со второго квартала 1974 г. ежеквартально выпускаются отчеты с данными по 30 ядерным установкам США. С 1970 г. в МАГАТЭ

издаются ежегодные отчеты об опыте эксплуатации АЭС в странах — членах МАГАТЭ.

В представленном на симпозиуме докладе МАГАТЭ приведен анализ работы 107 АЭС в 15 странах. Он показал, что в 1973 г. средний коэффициент нагрузки АЭС составил 62,1%, а коэффициент работы на мощности — 72,9%. Если исключить реактор ККН, остановленный в 1973 г. по экономическим причинам, экспериментальные АЭС мощностью ниже 100 МВт (эл.), а также АЭС, пущенные только в 1973 г., то коэффициент нагрузки оставшихся 74 реакторов составит 64,7%, а коэффициент работы на мощности — 75,6%. Отмечается, что эти цифры еще далеки от установленных проектами коэффициентов нагрузки (75—80%). Сравнение АЭС с обычными электростанциями показывает, что характеристики надежности работы крупных ТЭС мощностью более 600 МВт (эл.) одного порядка или незначительно лучше, чем характеристики АЭС такой же мощности.

Обсуждались вопросы контроля и обслуживания систем и компонентов АЭС в процессе эксплуатации, прежде всего способы неразрушающего контроля металла корпусов реакторов, работающих в очень напряженных условиях. Работы в этом направлении только начинают развиваться. Некоторые успехи в создании аппаратуры контроля металла, основанной на использовании ультразвука и акустики, имеются во Франции и ФРГ. В настоящее время можно определять дефекты размером 1—2 мм в стальных листах толщиной до 350 мм. Что касается систематического контроля корпусов реакторов в процессе работы, то сейчас ведется подготовка к этим работам. Частичная проверка состояния корпуса реактора проведена один раз в ФРГ. С помощью ультразвука обследован старый дефект корпуса, который, как оказалось, не изменился.

В докладах и дискуссиях отмечалась необходимость повышения чувствительности аппаратуры контроля способной работать при высокой температуре и интен-