

Для окончательного выбора методов нагрева плазмы в реакторах требуется проведение крупномасштабных экспериментов.

Вопросы конструкции вакуумных камер, выбора материалов стенок камер экспериментальных установок и будущих термоядерных реакторов должны решаться с учетом таких факторов, как охрупчивание под воздействием нейтронов и распыление под действием заряженных частиц плазмы. Существенным является и предотвращение локального выделения энергии в различных участках камеры. Заметим, что для решения многих из этих вопросов требуются исследования, аналогичные проводимым при создании быстрых реакторов-размножителей, в связи с чем были предложены концепции термоядерного реактора — источника нейтронов с энергией 14 БэВ, предназначенного специально для испытания материалов и решения инженерных и технологических проблем.

Специально обсуждались вопросы радиационной защиты при экспериментах с дейтерий-тритиевой плазмой, комплексы систем для регенерации и предотвращения утечки трития как при нормальной работе, так и в аварийных ситуациях. Принятые конструктивные решения должны обеспечить нормальные условия работы для экспериментаторов и обслуживающего персонала.

Ввод в строй всех четырех установок планируется в начале 80-х годов, и в случае получения положитель-

ных результатов должно быть принято решение о создании опытных энергетических термоядерных реакторов. Во время совещания были рассмотрены концепции чистых (с воспроизводством трития) и гибридных термоядерных реакторов-токамаков, разрабатываемых в СССР, США и Японии. Отмечалось, что создание гибридных реакторов на первом этапе развития термоядерной энергетики может оказаться экономически более выгодным, чем создание чистых реакторов синтеза. Размеры и электрическая мощность таких термоядерных реакторов-токамаков различаются не сильно. Большой радиус выбирается от 10 до 15 м, малый — от 3 до 5 м, электрическая мощность в большинстве проектов принимается равной 2000—2500 МВт. Обсуждение показало, что уже сейчас необходимы технологические и инженерные исследования для обеспечения разработок экономически выгодных и минимально воздействующих на окружающую среду промышленных термоядерных электростанций. К этим работам, несомненно, должны быть привлечены коллективы, имеющие опыт в создании атомных электростанций с тепловыми и быстрыми реакторами.

Совещание показало, что международное сотрудничество в обсуждении проектов больших термоядерных установок-токамаков очень полезно и позволит внести ряд усовершенствований в проекты при их дальнейшей проработке и реализации.

КУЗНЕЦОВ Э. И.

Семинар «Перспективы бридеров деления и синтеза»

Семинар проходил в начале 1975 г. в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова. Он был организован Государственным комитетом по науке и технике СССР и Международным институтом системного анализа — IISA (Австрия, Люксембург). Наряду с советскими специалистами в семинаре приняли участие проф. В. Хефеле (IISA), проф. Дж. Кульчинский (Висконсинский университет, США), проф. Дж. Холдрен (Калифорнийский университет, США) и доктор Г. Кеслер (Ядерный исследовательский центр в Карлсруэ, ФРГ).

Открывая семинар, акад. М. А. Старикивич приветствовал инициативу Международного института системного анализа и отметил актуальность исследований с использованием системного анализа при рассмотрении мировых энергетических проблем и, в частности, при сравнении перспективности бридеров деления и синтеза в энергетике будущего. В. Хефеле сообщил о предварительной сравнительной оценке бридеров обоих типов, сделанной им совместно с К. Старом [1]. Исходные положения, на которых базировался проведенный анализ, сводятся к следующему: 1) природные запасы химического топлива будут в основном исчерпаны в течение ближайших 40—50 лет; 2) для освоения новых источников энергии требуется время порядка 25—30 лет, так что основы энергетики начала XXI столетия должны закладываться уже сегодня; 3) использование бридеров как деления, так и синтеза означает практически неограниченные энергетические ресурсы.

В. Хефеле отметил, что работа [1] вызвала оживленную дискуссию и во многом обоснованную критику, особенно со стороны специалистов в области термоядерного синтеза. В настоящее время в IISA подготавливается новая работа, учитывающая указанную критику и дополнительную информацию, полученную в последнее время.

В ходе обсуждения проблемы в целом участники семинара единодушно пришли к заключению, что основные трудности на пути создания как атомной, так и термоядерной энергетики обусловлены специфическими требованиями к конструкционным материалам, требованиями надежной защиты от выбросов радиоактивных веществ при нормальной эксплуатации реакторов и в аварийных ситуациях и, наконец, проблемой захоронения образующихся радиоактивных отходов. Каких-либо проблем, связанных с ресурсами исходного топлива или высоким удельным весом топливной составляющей в стоимости производимой энергии, по-видимому, нет. Констатировано, что в настоящее время сравнительный анализ бридеров деления и синтеза не может быть исчерпывающим, так как эти системы исторически стоят на разных уровнях проработки. В связи с этим задача системного анализа должна состоять не в выборе того или иного пути для развития мировой энергетики, а во всестороннем исследовании нерешенных проблем по каждому из направлений и в выработке предложений по выбору оптимальных путей их решения. При этом необходимо тщательно рассмотреть весь цикл от добычи сырья и доступности топливных и конструкционных материалов до распределения энергии и переработки и захоронения отходов.

При системном анализе перспективности атомной и термоядерной энергии должны учитываться географические особенности различных районов мира. Для малых стран могут, например, оказаться неприемлемыми электростанции большой мощности. Государства, не имеющие условий для захоронения больших количеств радиоактивных отходов, будут, очевидно, отдавать предпочтение более «чистым» системам. Для таких больших стран, как СССР и США, выбор типа станций может зависеть от конкретного расположения

энергосистемы. Уже начальное рассмотрение показывает, что такие проблемы, как время удвоения топлива и обеспеченность конструкционными материалами, в разной степени критичны для бридеров обоих типов. Для бридеров деления проблема конструкционных материалов в первом приближении решена. В ряде стран уже эксплуатируются быстрые реакторы-бридеры. В то же время следует отметить, что обеспечиваемое ими время удвоения топлива существенно превышает то время, которое, вероятно, потребуется для расширенного развития энергетики в начале следующего века (≤ 5 лет) [2]. Для сокращения времени удвоения необходим переход к более энергонпряженным режимам работы реактора, а следовательно, и к более теплостойким конструкционным материалам и ядерному топливу повышенной (по сравнению с UO_2) плотностью.

Для термоядерных бридеров время удвоения топлива не является лимитирующим фактором. Вопрос же о выборе конструкционных материалов, особенно для «первой стенки» реактора, подвергающейся интенсивному облучению нейтронами с энергией 14 МэВ, стоит сегодня очень остро. Ниобий, который в ряде первых проектов рассматривался как основной конструкционный материал, оказался неудачным с точки зрения активации.

Вероятность выброса радиоактивных веществ при использовании бридеров деления в основном определяется аварийными ситуациями, причем не только на самих реакторах, но и на заводах по переработке топлива. Очевидно, за счет дополнительных капитальных затрат эта вероятность может быть сведена к разумному мини-

муму. Путем соответствующих вложений можно решить и проблему захоронения радиоактивных отходов.

Общая радиоактивность термоядерного бридера, а следовательно, и вероятность радиоактивного загрязнения среды могут быть существенно уменьшены за счет использования конструкционных материалов на основе слабоактивирующихся элементов (ванадия, алюминия и т. п.). При этом следует, однако, учитывать реальность создания на основе этих элементов материалов с требуемой механической и радиационной стойкостью (а также их доступность).

Участники семинара признали, что как плутониевые бридеры деления, так и термоядерные бридеры на основе D — T-реакции синтеза с воспроизводством трития способны обеспечить человечество практически неограниченными ресурсами энергии. Для будущей мировой энергетики важно, чтобы хотя одна из указанных альтернатив оказалась реально осуществимой. Принцип разнообразия в данном случае гарантирует от принятия ошибочного решения. Проблема обеспечения расширенного воспроизводства топлива столь важна, что необходимость разработки обоих направлений не вызывает никаких сомнений.

ЕЛИСЕЕВ Г. А., КОЧЕНОВ А. С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hafele W., Starr C. «J. Brit. Nucl. Energy Soc.», 1974 N 4.
2. Александров А. П. В кн.: Атомной энергетике XX лет. М., Атомиздат, 1974.

Радиационное воздействие сбросов с ядерных установок в водную среду

30 июня — 4 июля 1975 г. в Отаниеми (близ Хельсинки) проходил симпозиум МАГАТЭ по радиационному воздействию сбросов с ядерных установок в водную среду. В работе симпозиума приняли участие 143 специалиста из 28 стран и трех международных организаций — МАГАТЭ, Европейского экономического сообщества (ЕЭС) и Евратома. Было представлено и обсуждено 33 доклада — восемь от США, по четыре от СССР и Японии, по три от Англии и Франции, два от Международной лаборатории по изучению радиоактивности моря (Монако), по одному докладу от Австрии, ГДР, Нидерландов, АРЕ, Израиля, Индии, Италии, Финляндии и ФРГ.

Доложенные работы были посвящены различным аспектам проблемы, играющей важную роль в современной ядерной энергетике и радиоэкологии. Детально проанализированы поведение стабильных и радиоактивных изотопов различных элементов в водной среде, критические пути поступления радионуклидов для физических, химических и биологических систем, методы радиационного контроля и оценки влияния доз излучения на человека и гидробионты, вопросы радиологической емкости водоемов, поведения плутония и других трансурановых элементов в водной среде. Повышенный интерес к последней проблеме обусловлен отсутствием стабильных изотопов трансурановых элементов в окружающей среде, что может привести к особенно высокому концентрированию их в некоторых звеньях экосистем и возникновению радиационной

опасности для человека или других живых организмов. В недавнем (февраль 1974 г.) докладе Американского агентства по охране окружающей среды приведены результаты прогностических оценок потенциальных последствий сброса таких радионуклидов с предприятий атомной промышленности США. Если предположить, что доля утечки плутония в окружающую среду $P = 10^{-7}$, то относительный вклад трансуранов в дозу естественного радиационного фона невелик, если же $P = 10^{-8}$, он оказывается доминирующим.

В докладах симпозиума были описаны результаты как модельных опытов, так и натурного изучения конкретных водных экосистем.

Экспериментальные лабораторные исследования кинетики плутония в гидробионтах выполнены в Международной лаборатории Монако. Их важным достоинством явилось применение ^{237}Pu с удобным для регистрации спектром γ -излучения (пять линий вблизи 100 кэВ). Измерение ^{237}Pu в организмах креветок показало, что фактор концентрирования (ФК) составляет $(0,9 \div 4,1) \cdot 10^3$, причем при линьке 30—60% накопленного плутония креветка сбрасывает вместе с панцирем. Это означает, что такой процесс может оказаться важным источником поступления этого элемента во внешнюю среду. Из анализа кривых выведения радионуклидов из морских организмов следует, что величины периодов полувыведения Pu(VI) , ртути и кадмия совпадают (в пределах экспериментальных погрешностей). На основе этих данных высказано предположение, что