

гии. В первом из них отмечалась важная роль использования  $^{15}\text{N}$  в исследованиях по применению азотных удобрений. Результаты изучения изменили представление агрохимиков о практической значимости отдельных процессов превращения азотных удобрений в системе почва — растения. Ведется поиск путей повышения эффективности азотных удобрений. Во втором докладе говорилось, что исключительно с помощью изотопных методов исследования были сделаны за последние 10 лет важные открытия в молекулярной биологии.

Состояние и перспективы применения изотопов в медицине было широко освещено в докладах, представленных ведущими институтами Минздрава, Минмедпрома, АМН СССР (третий день работы конференции). В них отмечалось, что наряду с другими способами лечения лучевой терапия является одним из основных средств борьбы со злокачественными опухолями. Сейчас лучевая терапия используется более чем у 70% онкологических больных в качестве самостоятельного лечебного воздействия на опухолевый процесс. В настоящее время завершена разработка и осваивается в серийном производстве комплекс внутрисолостных аппаратов АГАТ-В1, АГАТ-В2, АГАТ-В3 — новое прогрессивное направление в радиационном аппаратостроении, успешно решающее задачи внутрисолостной терапии. Клиническая радиоизотопная диагностика стала неотъемлемой частью диагностического процесса на всех этапах развития заболевания или оценки функционального состояния систем здорового организма. В 1977 г. в стране было обследовано более полумиллиона больных (в том числе диагностика инфаркта миокарда, ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, онкологических заболеваний и др.). Большое место радиоизотопные методы исследований начали занимать в космической медицине (перераспределение крови в условиях невесомости, сдвиги в состоянии кальцевого обмена и др.).

Большой интерес вызвал доклад о состоянии и перспективах использования имплантируемых систем с радиоизотопным источником питания на основе  $^{238}\text{Pu}$ . Большая удельная энергоемкость радиоизотопного источника питания на основе биомедицинского  $^{238}\text{Pu}$  и высокая энергетическая стабильность делают его в большинстве случаев единственно приемлемым

## Семинар по реакторостроению

Очередное заседание постоянно действующего семинара «Инженерные и экономические проблемы ядерной энергетики», состоявшегося 31 мая 1978 г. в Москве, было посвящено 25-летию Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники. На нем были рассмотрены вопросы развития ядерной энергетики и исследовательского реакторостроения, важнейшие научно-исследовательские и конструкторские задачи в этой отрасли науки и техники. В работе семинара, руководимого акад. Н. А. Доллежалем, участвовали 150 ведущих специалистов из 47 организаций, было заслушано и обсуждено 9 докладов.

Открыл семинар Н. А. Доллежал докладом «Ядерная энергетика и научно-технические задачи ее развития», в котором рассмотрел историю развития этой отрасли промышленности, особенности современного состояния и сформулировал главные задачи:

удешевление и ускорение строительства АЭС за счет укрупнения единичной мощности реактора и основного оборудования, повышения КПД, стандартизации

источником в электрокардиостимуляторах. Сейчас созданы основные типы отечественных электрокардиостимуляторов с источником  $^{238}\text{Pu}$  и уже имплантировано несколько десятков. Ведутся исследования по разработке радиоизотопных источников питания для обеспечения энергией имплантируемых систем типа искусственное сердце, по применению радиоизотопов в научных исследованиях в области химии, физико-химии, металлургии, в ядерно-физических исследованиях, а также по созданию аппаратуры и методов изотопного анализа.

Выступивший на конференции президент АН СССР А. П. Александров отметил несомненные успехи СССР и других социалистических стран в этой важной области. В частности, он отметил, что за прошедшие десятилетия освоено производство сотен радиоактивных и стабильных изотопов и тысяч источников и соединений на их основе. Разработаны и внедряются в народное хозяйство эффективные процессы радиационной технологии, радиоизотопные методы технологического контроля, высокочувствительные активационные и рентгенометрические методы элементного анализа. Вместе с тем имеются недостатки организационного характера, замедляющие реализацию возможностей, которые присущи радиоизотопным методам, в народное хозяйство, науку и медицину. Отметив успехи специалистов в области синтеза меченых соединений, А. П. Александров указал, что их номенклатура отстает от потребности молекулярной биологии и медицины. Важнейшим путем ликвидации имеющегося разрыва может и должна стать более широкая кооперация и специализация производства меченых соединений и препаратов в рамках сотрудничества стран — членов СЭВ.

Серьезным недостатком являются низкие темпы разработки, освоения и выпуска в СССР ядерно-физической аппаратуры, необходимой для работы с изотопами. Слабая координация усилий в области производства и применения изотопов и изотопной техники, разрозненность по разным министерствам и ведомствам требуют принятия срочных и действенных организационных мер.

В заключение А. П. Александров пожелал участникам конференции новых успехов в деле производства и применения изотопов.

КРУГЛОВ А. К., МАТЮШИНА Н. А.

оборудования и его элементов, применение (без ущерба для надежности) более дешевых материалов, снижения металлоемкости;

обеспечение высокой надежности и экономичности АЭС за счет высокого качества оборудования, сокращения перегрузочных и ремонтных простоев, соблюдения эксплуатационных регламентов, автоматизации управления реактором и оснащения активной зоны измерительными устройствами;

вскрытие резервов мощности реакторов в результате новых исследований в области гидродинамики, теплофизики, реакторной физики, изучение поведения материалов и элементов оборудования при форсированных режимах;

придание АЭС свойств, допускающих их работу в переменных режимах нагрузки, в частности, путем создания твэлов, способных выдерживать длительные циклические нагрузки, изучения надежности элементов оборудования в условиях переменных нагрузок;

разработка реакторов для теплофикации и высоко-температурной технологии.

С докладом о перспективах развития канальных водографитовых реакторов (в частности, динамики и управления) выступил И. Я. Емельянов. Работы по динамике и управлению реакторов начались под руководством И. В. Курчатова еще на первых сравнительно небольших реакторах. К узловым вопросам, успешное решение которых будет способствовать дальнейшему развитию современных мощных реакторов, прежде всего РБМК, И. Я. Емельянов отнес следующие: оптимальное формирование состава активной зоны; изучение динамики энергораспределения по объему активной зоны; оптимизация динамических характеристик активной зоны; синтез автоматических систем стабилизации и регулирования энергораспределения в активной зоне; освоение систем управления, разработанных в настоящее время; дальнейшая автоматизация управления реактором и АЭС; расширение экспериментальных исследований на действующих реакторах. Докладчик показал влияние на энергораспределение характеристик топливного цикла, отметил сложность пространственно-временных закономерностей энергораспределения, что подтвердило необходимость использовать в расчетах пространственные модели. Он остановился также на задачах определения нестационарной деформации энергораспределения и соответствии расчетов и экспериментов. В докладе отмечалось, что неустойчивость энергораспределения — неотъемлемое свойство мощных реакторов, причем для нее характерны как секундные, так и часовые периоды. Пока нет строгой теории и методов синтеза систем управления такими реакторами, большая роль принадлежит отработке систем управления на моделях с последующей проверкой на действующих реакторах.

Таким образом, создание реакторов нового поколения для мощных АЭС требует решения комплекса качественно новых сложных задач, необходимых для проектирования реактора и систем управления. Сформировавшиеся на этой основе направления работ являются новой ступенью в реакторостроении, решающей научно-технические задачи проектирования реакторов для более мощных и совершенных АЭС. На этой основе успешно разработаны канальные реакторы мощностью 1500 и 2400 МВт. Перспектива развития указанных направлений связана с дальнейшим углублением теории и методов расчетов, а также с расширением и совершенствованием методов экспериментальных исследований на действующих реакторах.

Итогам и перспективам развития быстрых натриевых реакторов посвящен доклад Ф. М. Митенкова. Эти реакторы — радикальный путь уменьшения потребления урана. К наиболее важным проблемам их создания относятся проектирование, изготовление и эксплуатация компонентов натриевых контуров; безопасная и надежная работа парогенераторов; радиационная защита; работоспособность твэлов; безопасность АЭС с такими реакторами. С июня 1973 г. в СССР эксплуатируется БН-350, оборудование которого в целом работает надежно и устойчиво, хотя и были трудности из-за недостаточного качества изготовления отдельных элементов. Заканчивается монтаж БН-600, ведется проектирование головного блока АЭС мощностью 1600 МВт. В настоящее время достаточно полно определилась идеология быстрых натриевых реакторов, проведены необходимые экспериментальные исследования, накоплен опыт конструирования и изготовления, ведется оптимизация схемных и конструктивных решений.

Опыт создания, развития и совершенствования корпусных энергетических реакторов типа ВВЭР рассматривался в докладе В. В. Стекольников. Эти реакторы выпускаются серийно мощностью по 440 МВт. Их технико-экономические показатели (низкая себестоимость 1 кВт·ч, высокий коэффициент использования установленной мощности) улучшаются благодаря укрупнению единичной мощности оборудования, повышению параметров теплоносителя, применению химического (борного) регулирования реактивности, большей надежности электропитания главных циркуляционных насосов путем использования специальных генераторов собственных нужд, уменьшения числа зданий АЭС за счет размещения большинства оборудования в главном корпусе и установки двух реакторов в общем зале. В проекты ВВЭР вносятся новые прогрессивные решения, направленные на дальнейшее повышение надежности и улучшение условий эксплуатации, например высокопрочные стали, цельнокованые обечайки корпуса реактора без продольных швов и др. Коэффициент использования мощности ВВЭР достигает 0,7—0,8. В. В. Стекольников отметил и недостатки АЭС с ВВЭР: период приработки составляет 2—3 года, часты отказы КИПиА, встречаются ошибки в конструировании. Сейчас реализуются конструкторско-технологические мероприятия, устраняющие эти недостатки. В ближайшее время заканчивается сооружение головного ВВЭР-1000, в котором благодаря отмеченным положительным особенностям ожидается низкая стоимость установленного кВт·ч. При разработке мощных реакторов этого типа будет обращать большое внимание на дальнейшее снижение стоимости строительства, применение многослойных корпусов, сокращение простоев при перегрузке, стандартизацию и унификацию, использование реактора в полупиковом режиме, повышение энергонапряженности, уменьшение неравномерности энергораспределения, оптимизацию АЭС.

В. В. Орлов ознакомил собравшихся с состоянием и перспективами развития исследований по управляемому термоядерному синтезу. Как известно, термоядерные реакторы могут использовать неисчерпаемые топливные ресурсы, создавать высокую температуру. По-видимому, они будут «чище» обычных ядерных реакторов, в состоянии производить нейтроны высокой энергии и с большим выходом, могут сочетаться с обычными реакторами. В докладе рассмотрены проекты и проблемы термоядерных реакторов, в частности тороидальных реакторов типа токамак.

В докладе В. А. Сидоренко основное внимание уделено безопасности и защите окружающей среды. С каждым годом возрастает количество радиоактивных веществ в связи с перевозкой топлива, переработкой и захоронением отходов. Несмотря на это, как показывает статистика, ядерная энергетика безопаснее обычной тепловой. Докладчик рассмотрел аварийные режимы АЭС, реактора и топливных элементов. Особенно подробно проанализировано влияние расстояния от реактора до населенного пункта с учетом внешних воздействий (стихийных бедствий, пожаров, падений самолетов, злоумышлений).

Использованию АЭС в переменных режимах нагрузки посвящен доклад В. В. Батурова. Рассмотрев требования энергосистем, рост мощностей АЭС, особенности отечественных реакторов и АЭС в статике и динамике, докладчик показал, что участие АЭС в режимном и аварийном регулировании нагрузок возможно и необходимо. Требования по маневренности должны быть различными для АЭС разных типов и не могут быть

одинаковыми с требованиями, предъявляемыми к электростанциям на органическом топливе. Основными факторами, ограничивающими маневренные возможности АЭС с серийными реакторами большой мощности, являются недостаточная работоспособность твэлов при большом числе циклов и деформация энергораспределения, возникающая при быстром подъеме мощности. Для расширения участия АЭС в режимном и аварийном регулировании нагрузок необходимо создание специализированных энергоблоков. В докладе рассмотрены принципы конструкции полупикового реактора, основанные на опыте создания и эксплуатации реакторов канального типа и экспериментальных работах по исследованию проточных топливных каналов. Экономичность предлагаемых решений можно ожидать достаточно удовлетворительной.

Ю. М. Черкашов отметил актуальность применения ядерных энергоресурсов для централизованного теплоснабжения, сформулировал условия их конкурентоспособности, рассказал о проектах атомных ТЭЦ и котельных, о корпусных и канальных реакторах большой и средней мощности. Применение ядерного топлива для промышленного и коммунально-бытового теплоснабжения обеспечит более рациональное использование ядерных ресурсов. Возможность создания

радиационно-безопасных и надежных ядерных энергоисточников теплоснабжения подтверждена опытом эксплуатации Белоярской, Нововоронежской, Ульяновской АЭС и Вилибинской АТЭЦ. Строительство атомных станций теплоснабжения (АСТ) возможно в диапазоне от нескольких до сотен МВт вблизи населенных пунктов. В удаленных и труднодоступных районах АСТ конкурентоспособны при тепловых нагрузках 25—50 Гкал/ч и мощности 10—25 МВт.

Этапы развития МГД-установок различных типов рассмотрены в докладе Э. Э. Шпильрайна. Отмечены направления, по которым развиваются МГД-установки открытого цикла. Наибольшие достижения в создании опытно-промышленных МГД-электростанций имеются в нашей стране, где уже несколько лет эксплуатируется установка У-25 мощностью 20 МВт. В процессе ее отработки решены принципиальные вопросы, относящиеся к основному оборудованию МГД-электростанций. Рассмотрены перспективы применения МГД-метода преобразования в ядерной энергетике, обсуждены возможности использования МГД-генераторов в термоядерных установках.

Доклады вызвали большой интерес участников семинара.

ИОНАЙТИС Р. Р.

## Совещание МАГАТЭ по обнаружению течей в парогенераторах быстрых реакторов

Совещание состоялось в Димитровграде в июне 1978 г. В его работе участвовали специалисты и наблюдатели из Великобритании, Нидерландов, Италии, Франции, ФРГ, СССР, США и Японии.

Целью совещания было рассмотрение и обсуждение методов обнаружения течей и их локализации. Особое внимание обращалось на опыт, количественное определение критериев и реальной чувствительности используемых методов.

Совещание рассмотрело следующие темы:

методы и оборудование для определения и локализации течи, включая концентрационные, гелиевые и электромагнитные методы;  
акустические методы и аппаратура для определения и локализации течи;

методы обеспечения и проверки герметичности парогенераторов при изготовлении, монтаже и ремонте, методы инспекций состояния труб парогенераторов для периодической проверки и оценки повреждений, которые возникают вследствие течей, влияние этих методов на конструкцию парогенераторов.

Обсуждалось 14 докладов. В большинстве их основное внимание уделялось исследованию течений и их обнаружению в процессе эксплуатации парогенераторов.

**Концентрационные методы обнаружения течи.** В настоящее время основным является метод обнаружения течей, основанный на измерении концентрации водорода в натрии и защитном газе. Концентрацию водорода после диффузии через никелевую мембрану определяют различными способами: масс-спектрометрами (Франция), катарометрами (Великобритания), ионными насосами. Состояние разработки этих приборов уже сейчас находится на уровне, обеспечивающем их серийное производство и сбыт.

О разработанном в Беркли детекторе водорода, основанном на принципе концентрационной электрохимической ячейки, сообщается в докладе Д. Хейеса (Великобритания). В качестве твердого электролита используется смесь  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{CaH}_2$ , эталонным электродом является насыщенный раствор  $\text{LiH}$  в  $\text{Li}$ . При фоновой концентрации водорода в натрии  $0,1 \cdot 10^{-6}$  напряжение ячейки меняется на 1 мВ при изменении концентрации водорода на  $3 \cdot 10^{-6}$ . Время срабатывания прибора 5 с. Прибор разработан для исследовательских целей, но предполагается его использовать на парогенераторах.

В Великобритании, США, ФРГ разработан кислородный электрохимический датчик с твердым электролитом  $\text{ThO}_2$  и  $\text{Y}_2\text{O}$  (7,5%), эталонным электродом является воздух. Чувствительность датчика  $40 \cdot 10^{-6} \text{ O}_2$  в натрии (изменение напряжения 2 мВ при фоновой концентрации  $1 \cdot 10^{-6}$ ).

Измерительный модуль, включающий водородный датчик с ионным насосом и два кислородных электрохимических датчика, что снижает вероятность появления ложного сигнала течи, описывается в докладе Р. Маджи и др. (США).

В некоторых странах проведено большое число исследований развития малых течей. Установлено, что в перлитных сталях течи с расходом меньше 5 мг/с имеют тенденцию «забиваться» и не проявляют себя в течение длительного времени (до 30 сут). После этого происходит быстрое увеличение (за 1—2 мин) дефекта, что, в свою очередь, может приводить к скорому разрушению соседних трубок.

В докладе специалистов из Франции отмечено, что имеет место второй инкубационный период, в котором течь увеличивается до 0,1 г/с за 10 мин. За этим следует быстрое ее увеличение. Вероятность открытия блокированной течи возрастает при термошоках. В докладе