

легких и дешевых радиометрических методов даже в таких неблагоприятных условиях.

Следует отметить хорошую организацию и четкое руководство работой симпозиума со стороны Аргентины —

страны-хозяйки — и МАГАТЭ в лице ее ученого секретаря М. Хансена.

КОТЕЛЬНИКОВ Г. Н.

## Советско-французский семинар по атомным станциям теплоснабжения

18—24 сентября в Москве — Дмитровграде состоялся советско-французский семинар по атомным станциям теплоснабжения. В нем участвовали около 50 специалистов, представивших 18 докладов. На семинаре рассматривались различные предложения по использованию атомных энергоисточников для отопительного теплоснабжения с учетом экономической эффективности. Из материалов семинара следует, что как во Франции, так и в СССР в настоящее время разрабатываются АСТ с реакторами единичной мощности от 15 до 500 МВт. Значительное внимание в обеих странах уделяется вопросам безопасности ввиду предполагаемого размещения АСТ вблизи перспективной границы крупных городов (СССР) или даже в пределах городской черты (Франция).

Пять советских докладов были посвящены различным аспектам создания вариантов установок АСТ тепловой мощностью 500 МВт. В докладе А. В. Дубровина и др. изложена концепция активной зоны реактора, характеризующейся небольшой энергонапряженностью (27,4 кВт/л), компенсацией реактивности только механическими регуляторами, низкими параметрами теплоносителя (давление 1,6 МПа, температура входа 150°C, выхода 200°C), его естественной циркуляцией и интегральной компоновкой оборудования контура. Об экспериментальной проверке некоторых характеристик одного из вариантов реактора на установке ВК-50 сообщил И. Н. Соколов и др. Измерение скорости циркуляции в активной зоне при давлении 0,9—2 МПа и изменении мощности от 4 до 20 МВт показало, что благодаря относительно низкому давлению в реакторе АСТ высокая интенсивность естественной циркуляции обеспечивается низким массовым паросодержанием на выходе из активной зоны. Заметный вклад в естественную циркуляцию вносит самовскипание в тяговом участке. Измерения концентрации радиолитических газов в воде и паре показали, что равновесная концентрация устанавливается через 4—5 ч после прекращения сдувок, причем она на 2 порядка ниже взрывоопасной. Граница резонансной устойчивости определяется объемным паросодержанием 0,7—0,75, которое не зависит от давления в реакторе. В докладах О. М. Ковалевича и др., а также В. В. Егорова и др. сформулированы дополнительные требования по обеспечению безопасности АСТ. К ним относятся исключение плавления твэлов при повреждении корпуса реактора, учет таких факторов, как падение самолета, ударная волна и т. п., ограничение срока хранения на АСТ облученного топлива и радиоактивных отходов, нормирование коллективной дозы облучения в нормальных и аварийных ситуациях, наличие между тепловой сетью и теплоносителем реактора промежуточного контура, пониженное по отношению к сетевому контуру давление греющей среды. Предусмотренные в проектах АСТ конструктивные решения удовлетворяют этим требованиям.

Оценка технико-экономических показателей АСТ приведена в докладе М. И. Завадского и др. Показана экономическая целесообразность строительства АСТ мощностью более 3350 ГДж/ч в Европейской части СССР при существующих ценах на органическое топливо. При этом для строительства предпочтительны районы, наиболее удаленные от месторождений органического топлива (северо-запад, центр). Конкурентоспособность АСТ достигается за счет меньшей топливной составляющей стоимости тепла 40—50% при 60—70% для газомазутных и 80% для угольных котельных. Повышение стоимости органиче-

ского топлива приведет к повышению конкурентоспособности АСТ. При цене 60 руб./т усл. т. эффективными становятся АСТ мощностью до 840 ГДж/ч (вместо органических котельных на любом топливе). АСТ целесообразно размещать на расстоянии до 20—25 км от крупных потребителей тепла и до 30—40 км от мелких изолированных потребителей.

В качестве источника атомного теплоснабжения во Франции предполагается применять реактор THERMOS мощностью 100 МВт, о котором было рассказано в докладах Г. Дююи, М. Лярусса, Д. Пелтье и Д. Тома. Активная зона реактора состоит из пластинчатых твэлов толщиной двуокисного топлива 4 мм и циркалоевых оболочек толщиной 0,5 мм. Относительно низкая температура топлива вследствие его малой толщины (и соответственно небольшой выход из него газов) является одним из основных факторов безопасности реактора. Опытные образцы в настоящее время проходят реакторные испытания. Прогнозируемое выгорание при обогащении 4% составляет 30 ГВт·сут(кг). Каждая из 96 тепловыделяющих сборок состоит из 4 девятиэлементных пучков. Средняя тепловая нагрузка на поверхности твэлов 58 Вт/см<sup>2</sup>. Между сборками размещен 21 крестообразный поглощающий стержень. Для удобства перегрузки топлива приводы стержней расположены в нижней части корпуса, однако поглотитель вводится в активную зону сверху под действием силы тяжести. Температура теплоносителя на выходе из активной зоны 139°C. Активная зона вместе с 4 теплообменниками и 4 насосами размещена в корпусе, снабженном теплоизоляцией из стальной фольги, который для большей безопасности заключен в бассейн с водой при температуре 35°C. Бассейн находится в корпусе из предварительно напряженного железобетона. Он предназначен для сбега остаточного тепловыделения и (или) локализации радиоактивных выбросов в аварийной ситуации. Для повышения безопасности над зданием реактора устанавливается защитный колпак, предохраняющий установку от внешних воздействий (снарядов, взрывной волны, падающего самолета). Мощность реактора 100 МВт достаточна для отопления города с 200 000 жителей. В перспективе предполагается проектирование реактора такого же типа на 200 МВт. Столь низкая мощность объясняется отсутствием во Франции разветвленных тепловых сетей и стремлением приблизить источник тепла к потребителю вплоть до размещения его на границе города. Ожидаемая стоимость тепла 20,5 фр./ГДж. Разрешение на строительство головной установки в Сакле и согласие санитарных служб пока еще не получено.

Возможность использования канальных реакторов для получения тепла и электроэнергии показана в докладе М. Е. Минашина и др. Успешный опыт эксплуатации Билибинской АТЭЦ подтвердил высокую надежность и безопасность установок с канальными водографитовыми реакторами с естественной циркуляцией теплоносителя. Подтверждена также экономическая эффективность строительства АТЭЦ в районах Крайнего Северо-Востока, несмотря на относительно малую мощность энергоблоков. В тяжелых климатических условиях успешно эксплуатировались воздушные радиаторные охладители технической воды. Определенные преимущества для АСТ имеют реакторы с органическим теплоносителем. Об опыте эксплуатации реакторной установки с органическим теплоносителем АРБУС говорилось в докладе В. А. Цыканова и др. Реактор работает в НИИАР (г. Дмитровград) с 1963 г.

За это время на нем испытаны 3 различных теплоносителя (газойль, гидрированный терфенил, дитоллилметан), усовершенствована технология теплоносителя, в основном путем уменьшения образования коксующихся пленок на твэлах. Разработан способ выведения продуктов разложения из контура и их сжигания. На основе опыта эксплуатации АРБУС начаты проработки вариантов реакторов мощностью 15, 100 и 500 МВт.

Безопасность АТЭЦ и АСТ может быть повышена за счет размещения реактора в корпусе из предварительно-напряженного железобетона, особенно при интегральной компоновке, когда парогенераторы также размещаются внутри корпуса. Результаты разработки таких реакторов и корпусов для них были представлены в докладах А. П. Кириллова и Л. В. Краузе. Большая расчетная и экспериментальная работа проделана по созданию корпуса реактора ВК-500 для АТЭЦ. Проведены испытания железобетонных моделей масштабом от 1/50 до 1/3 и ряда полномасштабных фрагментов корпуса. Показано, что разрушение даже 8—10% создавших напряжение тяге приводит к заметному изменению напряженного состояния корпуса. Температура бетона в месте контакта с метал-

лической облицовкой практически стабилизируется уже через 80 ч работы, а распределение температуры по толщине стенки отличается высокой равномерностью и практически не зависит от времени. При расчетных нагрузках трещины в железобетоне не допускаются. Внутренний диаметр такого корпуса для АСТ мощностью 500 МВт составит 5,5—6,0 м.

Нужно отметить также доклад М. В. Трахова и др. «Основные направления решения проблемы локализации жидких радиоактивных отходов АСТ» и доклад Р. Кезерге о влиянии хранения тепла на рентабельность его производства. В последнем приводятся результаты расчетов подземных хранилищ теплой воды с сезонным или суточным хранением. Показано, что при размещении хранилища на глубине 80 м его стоимость будет составлять до 1500 фр./м<sup>3</sup>. Потери тепла при подземном хранении составят ~25%.

Участники семинара были ознакомлены с реакторами АРБУС и ВК-50 в НИИАР и с ходом испытаний горячей модели железобетонного корпуса реактора ВК-500 в институте Гидропроект.

ТОКАРЕВ Ю. И.

## Технический комитет МАГАТЭ по проблемам очистки газообразных отходов АЭС

Совещание состоялось 12—15 июня 1979 г. в Москве. Оно явилось начальным этапом в подготовке рекомендаций и было организовано Отделом безопасности и охраны окружающей среды МАГАТЭ. Кроме советских специалистов в работе совещания приняли участие 20 представителей из 12 стран.

По мнению участников совещания, очистка газообразных отходов АЭС в нормальном режиме работы не представляет особых проблем. В настоящее время достаточно эффективных методов и средств очистки. Особое внимание следует обратить на аварийные ситуации. Например, в США в связи с аварией на АЭС в Гаррисберге пересматриваются стандарты. Это вызвано тем, что в момент аварии некоторые системы газоочистки показали недостаточную эффективность. На совещании обсуждались проблемы выделения из газообразных отходов АЭС радиоактивных аэрозолей, радиоактивных иода, углерода, благородных газов (РБГ).

Очистка воздуха и газов от аэрозолей на АЭС при нормальной эксплуатации осуществляется фильтрами типа НЕРА (Великобритания, США, ФРГ, Италия). В отдельных случаях применяются стекловолоконистые и песчаные фильтры предварительной очистки. Песчаный фильтр, по заявлению представителя Швеции, играет большую роль газгольдера выдержки. Для высокотемпературных реакторов с газовым охлаждением в Великобритании, например, используются керамические и металлокерамические фильтры.

В аварийных ситуациях в очищаемом воздухе содержится большое количество паров воды и перед фильтрами НЕРА устанавливаются фильтры предварительной очистки для удаления водяных капель. В качестве фильтрующей среды рекомендуется использовать пакеты из металлических волокон диаметром 4 и 22 мкм (ФРГ, Италия). Для реактора с натриевым теплоносителем в аварийных условиях используется система газоочистки, в которой газ первоначально промывается в скруббере. При этом улавливается основная часть окиси натрия, частично — иод, снижается температура газа (Великобритания).

Зарубежные специалисты считают, что эффективность фильтров должна проверяться после монтажа, а также периодически в процессе эксплуатации. Для испытания

систем газоочистки применяются стандартные методы: в Великобритании — стандарт BS-3928 — 1965, в ФРГ — метод на основе конденсационного теста-аэрозоля NaCl; в США, Италии — американский стандарт ANSI-№ 101.1-72.

На большинстве зарубежных АЭС для улавливания радиоиода и его химических соединений из газовой фазы применяется активный уголь, а также активный уголь, импрегнированный различными веществами. Наиболее распространенными импрегнантами являются иодистый калий (KI) и триэтилендиамин (ТЭДА). По данным специалистов США, начальная эффективность фильтров с активным углем, импрегнированным смесью KI + ТЭДА, составляет 99,9%. В ФРГ применение ТЭДА запрещено вследствие летучести и возможного возгорания этого вещества. Рассматривается возможность использования неорганических материалов, содержащих серебро, для улавливания радиоиода в аварийных ситуациях при повышенной температуре. Во Франции для улавливания иода на АЭС применяются фильтры с активным углем, импрегнированным KI. Для очистки воздуха реакторных и вспомогательных помещений фильтры собираются в батарее. Исследуются причины «старения» импрегнированного угля. В Великобритании на АЭС с газоохлаждаемыми реакторами для улавливания радиоиода также применяется активный уголь, импрегнированный KI. Считается, что ТЭДА разлагается в атмосфере CO<sub>2</sub>, который используется в реакторе в качестве теплоносителя. На реакторезамножителе «Рооле» две системы подной очистки: для работы в нормальных и аварийных условиях. Аварийная система состоит из водяного скруббера, фильтра типа НЕРА и адсорбера. В адсорбере два слоя активного угля, импрегнированного KI и ТЭДА. Общая высота двух слоев 10 см.

Большое внимание контролю радиоиода на АЭС уделяется в ГДР и СССР. Кроме того, изучаются поведение и химические формы иода в воде первого контура.

В Италии и Швеции используют активный уголь, импрегнированный KI. Эффективность фильтров в Италии контролируется при помощи метиллиодида или фреона, меченных <sup>131</sup>I. В Швеции исследуются [компонентный состав сбросов и химические формы] иода. Система