

коллективной дозы. К. Морган отметил, что применение на практике коэффициентов взвешивания, рекомендуемых Публикацией 26 МКРЗ, приведет к «недопустимо большому» ПДД для отдельных органов: до 42 бэр для легких и костного мозга, 167 бэр — для костной ткани и щитовидной железы. Правда, для щитовидной железы и костной ткани МКРЗ предлагает ограничить годовую ПДД до 50 бэр, но и этот уровень (2500 бэр за весь период профессиональной работы) неоправданно высок. Докладчик считает, что даже при старых нормативах допустимые концентрации (ДК) многих радионуклидов в воде слишком велики. Например, ДК  $^{239}\text{Pu}$  в воде, равная  $2,2 \cdot 10^{-9}$  Ки/л ( $1 \text{ Ки} = 3,700 \cdot 10^{10}$  беккереля — Бк), для отдельных лиц населения должна быть уменьшена по крайней мере в 40 раз. По его заявлению, Агентство по защите внешней среды США предполагает внести такое изменение.

Г. Вебб (Великобритания) сделал интересный доклад о модели расчета доз облучения населения за счет газоаэрозольных и жидких радиоактивных отходов. Эта модель является основой методологического руководства по оценке радиологических последствий воздействия радиоактивных отходов, которое сейчас готовит комиссия ученых ряда европейских стран. За основу модели атмосферного переноса аэрозолей принята известная теория Пасквилла с модификацией Смита. Менее подробно рассмотрена модель расчета коллективных доз.

В докладе Н. Г. Гусева и В. А. Беляева (СССР) более детально, чем в докладе Г. Вебба, изложены разработанные авторами модели расчета доз за счет газоаэрозольных радиоактивных выбросов. Приведена оригинальная модель расчета популяционных доз, дающая более точные результаты, чем модель Г. Вебба, на больших расстояниях от источника выбросов. Кроме того, камерная модель советских ученых более обобщенная: в ней можно использовать не только экспоненциальную, но и любую другую форму перехода радионуклида по звеньям пищевой цепочки. В целом же эти две модели во многом дополняют друг друга. В другом докладе Н. Г. Гусева, сделанном совместно с Г. Г. Дорошенко, предлагается новый подход к обоснованию рабочих пределов выбросов радиоактивных благородных (РБГ) газов с АЭС. Показано, что распределение нормализованных выбросов РБГ подчиняется логарифмически-нормальному закону, параметры которого — среднее геометрическое значение  $g_0$  и среднее квадратическое отклонение  $\beta$  — могут быть использованы для обоснования рабочих пределов  $q = q_0 \beta^n$  Ки/МВт(эл.)·год. Выбор параметра  $n$  определяется, во-первых, требованием превышения установленного предела дозы, во-вторых, оценкой баланса «стоимость — польза».

Р. Карам и Ц. Ли (США) рассмотрели вопросы безопасности гипотетического быстрого реактора мощностью 1000 МВт(эл.) с жидкотеплоносителем теплоносителем и металлическим горючим на ториевой основе и подчеркнули возрастающую роль актиноидов, и прежде всего  $^{243}\text{Am}$ .

В трех совместных докладах Ж. Вуковича (Югославия) и И. В. Мелихова (СССР) были изложены теоретические основы переработки жидких радиоактивных отходов. Большое число докладов было посвящено проблеме переработки, удаления и безопасного захоронения жидких и твердых радиоактивных отходов. Так, Г. Вебб проанализировал принцип «стоимость — польза» при обращении с радиоактивными отходами, Э. Длоухи (ЧССР) — движение радиоактивных отходов в почве, Х. Краузе (ФРГ) — методы отверждения отходов высокой удельной активности и проблему использования соляных шахт для их захоронения. И. Суселье (Франция) рассказал о французском опыте подземного захоронения отходов. Доклады Дж. Хирлинга (Венгрия) посвящены специфике удаления радиоактивных отходов в относительно малых странах и отверждению жидких радиоактивных отходов. Представитель МАГАТЭ К. Шнейдер сделал обобщенные доклады о деятельности МАГАТЭ в области переработки и захоронения радиоактивных отходов. Интересный обзор рекомендаций МКРЗ по дозовым пределам и их практическому применению сделал П. Д. Маркович (Югославия).

Следует отметить высокий научный уровень и актуальность докладов, представленных в Школе, и хорошую организацию ее работы югославскими учеными. Труды Школы (Waste Disposal and other Radiation Problems in Nuclear Industry. Proc. IV Intern. Summer School on Radiation Protection. Belgrade, 1979) изданы Институтом ядерных исследований им. Б. Кидрича.

ГУСЕВ Н. Г.

## Двусторонние связи Советско-итальянский семинар по парогенераторам натрий — вода

Семинар по проблемам разработки парогенераторов (концепциям и схемам, конструкциям, системам безопасности, конструкционным материалам, расчетам и экспериментам) проходил в Вычислительном центре Комиссии по атомной энергии Италии (CENEN) в Болонье и исследовательских центрах CENEN в Бразимоне и Касачче в октябре 1979 г. Было представлено 11 советских и семь итальянских докладов. В советских докладах рассматривались результаты теплокоррозионных и вибрационных испытаний парогенератора БН-600 на моделях, исследований вибрации пароперегревателей парогенератора БН-350, длительных ресурсных испытаний прямооточного парогенератора с S-образными змеевиками в составе БОР-60, итоги эксплуатации систем контроля течи на парогенераторах БН-350. Освещались также отдельные вопросы расчета и оптимизации парогенераторов натрий — вода (выбор типа и оценка перспективности парогенераторов с двухстенными трубками, расчеты теплообмена и гидродинамики).

В докладе о критериях выбора парогенератора итальянские специалисты представили экономический анализ

оптимизации парогенератора на основе критериев безопасности, экономичности, хороших эксплуатационных характеристик, транспортабельности и возможности ремонта. На основании формулы для числа отказов в год  $f = 10^{-5} \cdot d \cdot N (6,8L + 47,2 M)$ , где  $d$  — диаметр,  $N$  — число и  $L$  — длина труб в модуле парогенератора,  $M$  — количество сварных швов, условиям минимальной стоимости и минимизации числа отказов удовлетворяет четырехмодульный парогенератор на мощность циркуляционной петли АЭС «Суперфеникс». При проектировании в Италии используется код ASME III. Детально исследуется температурный режим элементов парогенератора в нормальных условиях, переходных и аварийных режимах, включая режимы прекращения расходов воды или натрия и режимы с повреждением парогенератора в случае взаимодействия натрия с водой. Отдельный доклад посвящен расчетным кодам по теплообмену, оценке динамической неустойчивости, расчету взаимодействия натрия с водой, оценке прочности корпуса при отсутствии конденсатора между прямотрубным пучком и корпусом. Технологические исследования направлены на обработку оптимальных условий авто-

матической сварки труб «встык» с трубной доской, разработку технологий изготовления и испытаний различных типов дистанционирующих решеток, на разработку и проверку технологии ремонта модульного парогенератора, включая отмычку труб от натрия. В докладе о термодинамических испытаниях сообщались результаты распределения скоростей и вибрации трубок на полномасштабной прозрачной модели при испытаниях на воде. Цель исследований перспективных парогенераторов — анализ различных конструктивных схем, в частности с геликоидальными змеевиками, совершенствование технологии изготовления (особенно лазерной приварки труб к трубным доскам), более глубокое изучение конструктивных материалов как на базе перлитных сталей, так и высоконикелевых сплавов (главным образом, инкаллоя-800) с различными легирующими присадками.

Большую часть программы по быстрым реакторам в Италии занимают работы по АЭС «Суперфеникс» (Франция). Одна из составных частей этой программы — проектные работы по совершенствованию АЭС «Суперфеникс».

## Опыт эксплуатации АЭС «Ловиса» (Финляндия)\*

На семинаре обсуждались различные аспекты работы АЭС с реакторами ВВЭР-440: опыт эксплуатации оборудования и систем АЭС, контроль за эксплуатацией со стороны властей, эксплуатационная надежность, способы неразрушающего контроля материалов и оборудования, радиационная безопасность. В советских докладах, как правило, излагались результаты анализа работы многих блоков.

Директор АЭС «Ловиса» А. Палмгрен дал обзор основных результатов работы станции с момента ее сдачи в промышленную эксплуатацию (с 09.05.77 по 31.05.79). Коэффициент нагрузки АЭС составил 77,7%. За время эксплуатации не было ситуаций, опасных для обслуживающего персонала или окружающей среды. За два года произошло только один сброс аварийной защиты при работе на мощности. Общее число отказов оборудования и ошибок персонала постоянно уменьшается. Проведенное в докладе сравнение с международной статистикой показывает, что на АЭС «Ловиса-1» достигнуты во всех отношениях хорошие результаты.

Подробный анализ работы главных циркуляционных насосов (ГЦН), парогенераторов, систем управления и защиты, автоматики, электропитания, перегрузочной машины, насосов и арматуры, циркуляционной системы содержался в докладах С. Мерисаари, Я. Куяла, Е. Миеттинеа и др.

ГЦН были изготовлены фирмой «Финатом». После устранения в процессе пуска наладки недостатков в работе насосов (неравномерного потребления энергии двигателями, засорения уплотнений и т. п.) при промышленной эксплуатации не было ни одного случая останова станции для проведения их внеплановых ревизий. Тем не менее при перегрузках 1978—1979 гг. в насосах обнаружены повреждения болтовых соединений тепловых экранов и крышки. После устранения обнаруженных дефектов,носящих, по мнению автора, характер «детской болезни», наладка ГЦН на АЭС «Ловиса-2» прошла без затруднений.

Горизонтальные парогенераторы советской конструкции работали практически безупречно. Коэффициенты теплоотдачи в процессе эксплуатации сохранялись постоянными, влажность пара при номинальных условиях не превышала 0,15%.

Не отмечено существенных помех при эксплуатации турбин. Наибольшие проблемы связаны с коррозией трубопроводов и оборудования в системах, охлаждаемых

Главный объект модернизации — парогенератор. В стадии эскизной разработки находится четырехмодульная конструкция парогенератора с прямыми трубками для «Суперфеникса II». Изготовлена, снабжена измерительными датчиками и поставлена для испытаний на стенде в Ренардье (Франция) модель прямотрубного парогенератора мощностью 45 МВт, состоящая из модуля испарителя и модуля пароперегревателя.

Советские специалисты ознакомились на фирме «Бреда-термомеханикс» с цехами, где изготавливаются компоненты французского реактора «Суперфеникс», а также итальянского опытного реактора ПЕС, с отдельными лабораториями исследовательских центров CNEN в Бразимоне и Касачче и ходом строительства реактора ПЕС, посетили управление фирмы NIRA и ознакомились с ее структурой и основными работами по ядерной энергетике. В таких исследовательских центрах, как Касачча, Бразимона, имеются лаборатории и стенды, где можно проводить исследования по парогенераторам натрия—вода.

ТИТОВ В. Ф.

морской водой. К лету 1979 г. заглушено 11 вышедших из строя трубок в конденсаторах. Все трубопроводы морской воды внутренним диаметром менее 100 мм и часть диаметром 200—300 мм пришлось заменить на пластмассовые или на трубопроводы с резиновым покрытием. Делается также вывод, что для трубок конденсаторов турбин и других теплообменников целесообразно применять титан.

Благоприятным является опыт работы основных генераторов. При испытаниях по сбросу нагрузки генераторы работали без замечаний. Несмотря на сложность и необщепринятое, по мнению докладчика, выполнение устройств возбуждения и регулирования напряжения, после нескольких попыток добились удовлетворения строгих требований, установленных в Финляндии. Генераторы выполнены со скользкими кольцами, что вызывает большие трудности в обслуживании щеточного аппарата. Однако благодаря правильному выбору давления в щетках и плотности тока удается на одних и тех же угольных щетках работать в течение всего промежутка времени между перегрузками реактора. В течение двух с половиной лет было только около 10 случаев вынужденного отключения генераторов от системы.

Ощутимые потери электроэнергии (около 1% от полной выработки) были связаны с дефектами арматуры, в основном протечками через сальниковые уплотнения и уплотнительные поверхности. В значительной степени эти дефекты удалось устранить путем впрыскивания уплотнительной массы в протекающий сальник через специально просверливаемое отверстие.

Общее состояние трубопроводов первого и второго контуров хорошее. Так, например, при проверке трубопроводов главных циркуляционных петель (двух в 1978 г. и двух в 1979 г.) не обнаружено ни одного образовавшегося или увеличившегося в процессе эксплуатации дефекта.

На АЭС «Ловиса» очень высокая степень автоматизации. Используется в основном техника западноевропейских фирм. Однако наиболее важные функции, например защита и регулирование реактора, осуществляются с помощью советского оборудования. Очень надежно работают системы защиты, блокировок и автоматизации. Хорошо зарекомендовала себя ЭВМ английского производства. За период с 01.01 по 31.10.77 г. время ее эксплуатации составило 98,4%, с 01.11.77 по 31.03.78 г. — 99,7%. Однако в набор программ расчетов пришлось внести около 300 изменений.

Надзор за безопасностью эксплуатации АЭС возложен на Институт радиационной безопасности (Т. Эурола) и основывается на законодательстве по использованию

\* По материалам советско-финского семинара «Обобщение опыта эксплуатации АЭС с реакторами ВВЭР-440», состоявшегося 20—28 августа 1979 г. в Эспо.