

За это время на нем испытаны 3 различных теплоносителя (газойль, гидрированный терфенил, дитолилметан), 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 тяг не 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./м³. 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 пода, 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 стекловолокнистые 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 CO₂, который используется в реакторе в качестве теплоносителя. На реакторе-размножителе «Poole» две системы иодной 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 ЧССР. 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 метилдиода или фреона, меченных ¹³¹I. В Швеции исследуются компонентный состав сбросов и химические формы иода. Система

улавливания радиоактивного пода на АЭС в Канаде включает в себя предварительный фильтр, заполненный обычным активным углем, и основной фильтр с активным углем, импрегнированным KI. Система работает в режиме рециркуляции.

Для очистки газообразных отходов АЭС от РБГ большое значение имеет состав и расход газовой смеси. На АЭС с реакторами типа PWR основную массу газообразных отходов, содержащих РБГ, составляет водород. В нормальном режиме работы АЭС выделение газа равно примерно $1 \text{ м}^3/\text{ч}$. На зарубежных АЭС с реакторами данного типа сжигание водорода не предусмотрено. Технология переработки радиоактивных газов заключается в том, что газовая смесь под давлением закачивается в емкости (газгольдеры) и выдерживается в течение 40—60 дней, затем газ выпускается в атмосферу. АЭС фирмы «Вестингауз» с подобной системой газоочистки действуют и сооружаются в США и других странах. Газоочистка от РБГ на АЭС «Ловиса» (Финляндия), проект которой разработан в СССР, включает систему дожигания водорода и радиохроматографическое улавливание РБГ.

Основной источник газообразных отходов, содержащих РБГ, на зарубежных АЭС с кипящим реактором (BWR) — конденсатор турбины. Для уменьшения подсоса воздуха в конденсатор и сокращения тем самым объема газообразных отходов в уплотнение вала турбины подается чистый пар. Максимальная проектная величина объема газообразных отходов на кипящем реакторе мощностью 800 МВт

равна $30 \text{ м}^3/\text{ч}$. На АЭС с такими реакторами имеется радиохроматографическая система очистки газов. Количество активного угля в системе составляет 24 т. Газ предварительно подготавливается, т. е. осушается и очищается от аэрозолей. В Италии на проектируемой АЭС с кипящими реакторами предусматривается низкотемпературная радиохроматографическая газоочистная установка.

В Канаде действуют, проектируются и экспортируются АЭС с тяжеловодным реактором CANDU. Реактор оборудован радиохроматографической системой очистки газов от РБГ. АЭС с газоохлаждаемыми реакторами типа «Магнокс» (разработаны в Великобритании) не оборудованы радиохроматографическими газоочистными установками. Чтобы выброс РБГ не превышал допустимого уровня, на аппаратах этого типа производится быстрая замена негерметичных твэлов.

Для очистки газообразных отходов от РБГ в настоящее время не применяются такие методы, как криогенная дистилляция, адсорбция, разделение на мембранах, образование клатратных соединений, химическое связывание и т. д. Эти методы пока не нашли промышленного применения в системах газоочистки АЭС.

В результате работы Технического комитета был разработан план технического Отчета «Методы удержания радиоактивных выбросов АЭС в нормальных и аварийных условиях эксплуатации».

СОКОЛОВ В. Н., СМЕРНОВА Н. М., ОЧКИН Д. В.

Технический комитет МАГАТЭ по прогрессу систем инерционного удержания

В течение последних нескольких лет МАГАТЭ регулярно проводит совещания экспертов по УТС с инерционным удержанием плазмы. Эти совещания при участии не более 50—100 человек являются местом встречи специалистов по лазерам, релятивистским электронным пучкам, мощным пучкам легких и тяжелых ионов. Последнее заседание проходило в Осаке (Япония) 29 октября — 1 ноября 1979 г. В нем участвовали Япония (55 чел.), США (10 чел.), СССР (3 чел.), Великобритания, Канада, Франция (по 2 чел.), Австралия, Аргентина, Бельгия, Нидерланды, Чехословакия (по 1 чел.). Были заслушаны обзорные доклады о программах исследований в странах — участницах. Результаты резюмированы на заключительном заседании А. Алькоком (Канада), Дж. Йонасом (США), К. Мима (Япония), Л. И. Рудаковым (СССР) и Дж. Хольцрихтером (США). Резюме предполагается опубликовать в журнале «Ядерный синтез».

Отмечены достижения в исследовании УТС с инерционным удержанием плазмы. В СССР запущен первый модуль ускорителя «Ангара-5» (номинальные параметры модуля: энергия электронов 2 МэВ, ток релятивистского электронного пучка (РЭП) 1 МА, энергия в импульсе РЭП 100 кДж). В США эксперименты по лазерному облучению мишеней проводятся на неодимовом лазере «Shiva» (7 кДж/имп, в среднем 25 импульсов в месяц), на CO_2 -лазере «Helios» (4 кДж/имп.) и др. Проведены три серии опытов по обжатию мишеней: в режиме «взрывающегося поршня» (до $3 \cdot 10^{10}$ нейтр/имп., конечная плотность порядка плотности жидкой D — T-смеси), в режиме абляции (ранее описанная мишень типа «Hyperion», конечная плотность — 10 плотностей жидкости) и в режиме интенсивного сжатия (конечная плотность — 100 плотностей жидкости, тип мишени не сообщается). Лазер «Shiva» работает в режиме короткого импульса, вскоре он будет переведен в режим с длительностью импульса 2 нс. С мая 1979 г. в Ливерморской лаборатории начато

строительство лазера «Shiva-Nova» (полная энергия 100 кДж, 10 пучков на дисках из флюорофосфатного стекла диаметром 46 см; запуск предполагается в 1984 г.). В Лос-Аламосе продолжается строительство CO_2 -лазера «Antares» (энергия 100 кДж, запуск предполагается в 1984 г.). В Японии с 1978 г. работает четырехпучковый лазер «Gekko IV» (2 кДж за 1 нс или 4 ТВт за 100 пс) — крупнейший в мире лазер на фосфатном стекле. Там же создается 12-пучковый лазер «Gekko XII» (20 кДж за 1 нс или 40 ТВт за 0,1 нс). Это первый этап разработанной в 1978 г. в Японии национальной программы лазерного термоядерного синтеза под названием «Kongoh» (следующий этап программы предусматривает строительство в 1984—1987 гг. стеклянного лазера с энергией 100 кДж). Все перечисленные работы проводятся в Институте лазерной инженерии Осацкого университета — головном институте Японии по инерционному синтезу. Там же ведутся исследования CO_2 -лазеров серии «Lekko»: однопучкового лазера «Lekko I» (1 кДж, 80 пс), двухпучкового «Lekko II» (1 кДж, 3 нс). «Lekko II» используется в плазменных экспериментах и вместе с тем служит прототипом строящегося более мощного восьмипучкового CO_2 -лазера «Lekko VIII» (10 кДж, 1 нс, запуск предполагается в 1980 г.). В СССР, США, Японии, Канаде, Франции, Великобритании, ФРГ и других странах широким фронтом ведутся опыты по взаимодействию мощного лазерного излучения с веществом.

В нескольких докладах (наиболее подробно в докладе Ф. Фабра, Франция) сообщалось о том, что при равной мощности лазерного облучения эффективность поглощения энергии плазмой заметно возрастает с уменьшением длины волны.

В США интенсивно проводятся исследования по осуществлению УТС на основе мощных корпускулярных пучков, причем большое внимание уделяется пучкам легких ионов. В Сандиевской лаборатории на установке «Proto» плотность тока протонного пучка повышена