

при попадании пучка от кольцевого катода на полусферический анод в диоде. Показано, что плазма распределена равномерно и симметрично вокруг анода, что соответствует симметричному обжатию плазмы в такой геометрии. Планируется эксперимент по облучению частицы D — T-меси в виде шарика с двух противоположных направлений (два катода) для получения равномерного сжатия. Для этого эксперимента специально сооружается крупный ускоритель EBFA на 3 Мэв, 10^{12} вт с длительностью импульса ~ 20 нсек. Он включает в себя шесть формирующих линий в виде дисков диаметром 27 м, коммутируемых специально разработанными многоискровыми разрядниками с перенапряжением, и два диода, размещаемых в центре системы. Весной 1975 г. на ускорителе EBFA планируется получить пучок.

На семинаре, посвященном технике получения электронных пучков сверхвысокой мощности, речь шла о деталях и узлах ускорителей. В ряде выступлений приведены данные по распределению тока в каналах многоискровых разрядников и некоторые их временные характеристики. Было сообщено об экспериментах с фольговыми размыкателями при работе с индуктивными накопителями, о разработке в НИИЭФА высокопоточного ускорителя электронов с длинным импульсом на основе индуктивного накопителя и др.

Новые результаты по исследованию сильноточных ионных пучков были приведены в докладе Р. Судана (Корнельский университет, США). В трехэлектродной пушке (анод в середине) был получен ток протонов 2,5 ка при длительности 50 нсек и энергии 300 кэв. На более крупном ускорителе (5 Мэв) предполагается получить ток 50 ка. Такие пучки могут использоваться для нагрева плазмы, инъекции в установку «Астрон» для создания E-слоя (об этом сообщил Х. Флейшман), образования плотных ионных колец при исследовании ударных волн в твердом теле и т. д.

Обсуждались самые различные аспекты, связанные с проблемой взаимодействия пучков с плазмой: прохождение пучка через плазму, возникающие неустойчивости, механизмы эффективной передачи энергии от пучка к плазме, ускорение ионов в системе плазма—пучок—магнитное поле, взаимодействие пучка с плазмой при

наличии ВЧ-поля и др. Следует отметить, что экспериментальные исследования в этой области, очень сложные и требующие разработки специальной аппаратуры и методик измерения, уже дали значительный экспериментальный материал, который в большинстве случаев не получил еще четкого теоретического объяснения.

Сверх программы школы по инициативе А. А. Коломенского (ФИАН) был проведен семинар по ускорению ионов при прохождении сильноточных электронных пучков через газ. Дискуссии на нем выявили тенденцию к усложнению моделей ускорения (две стадии ускорения, учет влияния движения ионов и т. д.), так как ни одна из предложенных ранее моделей не удовлетворяла всем экспериментальным данным.

Были доложены основные результаты работ новосибирских физиков в области плазмы. Эти работы ведутся по разным, как правило, нетрадиционным направлениям: эксперименты по удержанию плазмы в многопролочной конфигурации, ловушка с вращающейся плазмой, интенсивные пучки атомарного водорода, теоретические работы.

Обзоры теоретических представлений по взаимодействию пучков с плазмой были представлены ведущими специалистами (А. А. Рухадзе, Н. Ростокер, Л. И. Рудаков) и в значительной степени опирались на оригинальные работы авторов. Наряду с углублением аналитических исследований все большее значение имеет численное моделирование с применением мощных ЭВМ; плодотворность такого подхода была продемонстрирована при изучении сильной лентмюровской турбулентности.

В целом работа школы показала, что мощные электронные и ионные пучки все шире применяются в исследованиях по физике плазмы и в других областях науки, а также для решения прикладных задач. Получение таких пучков, изучение особенностей их распространения в различных средах уже сейчас составляют самостоятельный и интересный раздел науки. Проведенная школа вновь подтвердила целесообразность такого всестороннего обсуждения одной или двух наиболее актуальных проблем из многих, стоящих перед физикой плазмы.

ПАПАДИЧЕВ В. А.

Научно-технические связи

Ознакомительная поездка советских специалистов в Швецию

3—14 сентября 1974 г. группа советских специалистов во главе с акад. А. П. Александровым посетила Швецию. Цель поездки — ознакомление с работами в области атомной науки и техники и промышленными предприятиями, производящими реакторное оборудование. Делегация посетила Государственное управление гидроэнергетики; эксплуатируемые и находящиеся в стадии пуска и строительства АЭС в Оскарсхамне и Рингхалсе; завод по производству тяжелого реакторного оборудования (корпусов реакторов, парогенераторов и т. д.) фирмы «Уддкомб»; конструкторско-технологический центр фирмы «АСЕА-атом», где наши специалисты ознакомились с новым заводом по производству твэлов и кассет для кипящих водо-водяных реакторов и теплофизическими стендами; горячие лаборатории, испытательный реактор R-2 и стенды Исследова-

тельского центра в Студсвике «АБ Атомэнерги»; известную фирму «Сандвик» и ее заводы по производству труб для оболочек твэлов, парогенераторов и контуров реакторов, а также металлофизические лаборатории.

По просьбе делегации сверх программы была организована встреча с группой специалистов для обсуждения программ работ по безопасности АЭС, выполняемых на бывшей АЭС в Марвикене.

12 сентября А. П. Александров в Королевской академии инженерных наук перед ведущими специалистами атомной науки и техники и руководителями фирм сделал доклад «О рациональном топливном цикле в атомной энергетике», вызвавший большой интерес и сопровождавшийся многочисленными вопросами. Здесь же, в более узком кругу, состоялась итоговая

встреча с участием Генерального управляющего Королевской академии инженерных наук проф. Г. Хамбреуса, где А. П. Александров сделал краткий обзор проблем, на базе которых в дальнейшем могли бы развиваться взаимовыгодные связи Советского союза и Швеции. Большое внимание к советской делегации объясняется тем вкладом, который внес Советский Союз в создание и развитие атомной науки и техники, а также традиционно доброжелательными взаимоотношениями между нашими странами.

Швеция как высокоразвитая страна практически имеет все необходимое (сырьевые ресурсы, разработанные и опробованные собственные проекты кипящих водяных реакторов BWR, реакторы PWR фирмы «Вестингауз», научно-исследовательскую базу с квалифицированным инженерно-научным составом, промышленный потенциал с современным оборудованием) для реализации планов введения атомно-энергетических мощностей, которые к 1990 г. достигнут 15800 Мвт (эл.). Однако Швеция испытывает определенные трудности, обусловленные сопротивлением фирм, не связанных с Ядерной индустриальной группой, а также существующим в стране общественным оппозиционным мнением о возможном влиянии АЭС на окружающую среду. Эти обстоятельства определяют научно-техническую политику в планировании работ исследовательских центров, а также в использовании бывшей АЭС в Марвикене для организации полномасштабных специальных весьма дорогих работ по программе безопасности АЭС (проверке эффективности охлаждения активной зоны при аварийном разуплотнении контура, ресурсным испытаниям отдельного оборудования и узлов и т. д.). Эксперименты по программе безопасности, реализуемые на Марвикене, проводятся с участием и финансированием ряда стран. Полученные научные результаты являются собственностью этих стран, и передача другим странам может осуществляться только при взаимном согласии и денежной компенсации затрат.

Учитывая неустойчивое положение с ценами на нефть и постоянный их рост, Швеция в кооперации с другими странами идет на значительные затраты по программе безопасности в целях успешного выполнения планов сооружения АЭС. Советский Союз также заинтересован в установлении контактов с участниками этой программы.

На заводе фирмы «ASEA-атом» организовано весьма современное производство твэлов и кассет для реакторов BWR, включая изготовление спеченных таблеток. Проектируется технологическая линия для производства твэлов с введенным под оболочку гелия под давлением до 30 атм для реакторов PWR. Этот завод не только обеспечивает собственные потребности Швеции, но и может поставлять твэлы на экспорт. Фирма предполагает расширить изготовление твэлов. На оборудовании завода, поставляемом как шведскими предприятиями, так и импортируемом, осуществляется входной контроль труб для оболочек твэлов из циркалоя-2 фирмы «Сандвик». По выявленному браку, достигающему 0,2%, обе фирмы оперативно обмениваются информацией для устранения причин возникновения брака и повышения тем самым надежности твэлов. Твэлы конструкции фирмы «ASEA-атом» имеют ряд конструктивных отличий от твэлов нашего производства.

Эксплуатация твэлов BWR на первом блоке АЭС в Оскарсхамне показала, что после выгорания 12000 Мвт·сутки/т U примерно из 30 000 твэлов в двух была обнаружена негерметичность. Хотя достигнутое выгорание составляет примерно половину от за-

планированного, указанный результат следует признать вполне хорошим.

Как в Исследовательском центре в Студсвике, так и на заводе фирмы «Сандвик» проведены достаточно обширные исследования, в том числе реакторные, касающиеся изучения влияния термомеханических обработок на механические свойства и структурную стабильность циркалоевых труб и оболочек твэлов.

Следует отметить, что фирма «Сандвик» возлагает большие надежды на использование разработанной ею стали марки 12R72HV (15% Cr, 15% Ni, 1,8% Mn; 1,2% Mo, 0,4% Ti и 0,006% V) для изготовления оболочек твэлов быстрых реакторов. Проведены обширные исследования по ползучести, длительной прочности в диапазоне температур 550—750°С в течение более 50 000 ч, комплекс внутривидеоскопических испытаний, показавших предпочтительность этой стали перед американской сталью марки 347 аналогичного назначения. Выявлено положительное влияние добавок титана и бора на высокотемпературные длительные механические свойства.

Дальнейшие исследования материалов оболочек твэлов тепловых реакторов проводятся с точки зрения безопасности АЭС. Многие работы в области реакторного материаловедения ведутся по совместным программам с другими странами (Бельгией, Норвегией, Англией, ФРГ, Францией и Италией).

Относительно небольшой завод по производству тяжелого реакторного оборудования фирмы «Уддкомб» выпускает до семи корпусов реакторов в год при потребностях Швеции один-два корпуса в год. Завод в основном работает на экспорт (в ФРГ, Францию, Скандинавские страны), оборудован очень производительным и весьма совершенным крупногабаритным оборудованием для всех видов механической и сварочной обработки и контроля сварных соединений. Завод кооперирует с граничными фирмами, которые представляют ему поковки и полуфабрикаты обечаек. На заводе проводится обработка, наплавка, сварка, контроль и сборка корпусов реакторов BWR и PWR и парогенераторов для АЭС мощностью 1500 Мвт (эл.). Корпуса реакторов изготавливаются из американских сталей A533-B (BWR) и A508-B (PWR). Методам контроля уделяется особое внимание, и затраты на эти цели достигают 10%. Учитывая долгосрочные заказы и заинтересованность в них фирмы, «Уддкомб» предполагает расширить завод.

Следует отметить, что применяемый в настоящее время на заводе «Уддкомб» метод нанесения наплавки проволочными электродами менее совершенен, чем используемый в Советском Союзе метод наплавки лентой. Фирма «Уддкомб» заинтересована в получении от Советского Союза заказов на корпуса реакторов.

В 1967 г. Швеция, Дания, Норвегия и Финляндия объединили свои усилия в создании железобетонного предварительно напряженного корпуса (ЖБК) водяного кипящего реактора BWR, а в 1973 г. к финансированию этой программы (без непосредственного участия) присоединились Англия и Франция. «Скандинавская программа» включает решение вопросов, связанных с прочностью, конструкцией уплотнения крышки, теплоизоляцией, контролем и безопасностью применения ЖБК для реакторостроения. Разработка конструкции ЖБК будет закончена в 1975 г., после чего можно приступить к сооружению в ЖБК кипящего реактора мощностью 900 Мвт.

Руководители фирм «ASEA-атом» и «АБ Атомэнерги» проявили большой интерес к работам, проводимым СССР по разработке кипящего реактора в ЖБК.

АМАЕВ А. Д.