

ных нейтронов практически не зависит от состава рассмотренных бетонов с содержанием водорода $6 \cdot 10^{21} - 21,6 \cdot 10^{21}$ атом/см³ (2.31).

В работах по исследованию прохождения излучений через неоднородности в защите получена количественная расчетная информация: в случае неоднородных защит для нейтронов — с использованием программы РЗД (2.3) и метода Монте-Карло (2.37), для источников γ -квантов (2.24) и электронов (2.68) — методом Монте-Карло. Новые экспериментальные исследования по распространению медленных и промежуточных нейтронов через натриевый нейтронпровод с борированными стенками в воде (2.81) позволили установить, что борированием стенок нейтронвода можно в 10—100 раз снизить потоки нейтронов на выходе такой неоднородности. Как показали эксперименты на ускорителе протонов высоких энергий (2.28), сборная защита из крупных блоков со сквозными щелями шириной до 10 мм и «перевязанными» щелями шириной до 20 мм не приводит к заметному ухудшению защитных свойств сборок по сравнению со сплошной защитой (при отношении ширины щели к длине менее 0,005).

Было доложено о проведении исследований физико-механических, деформационных и специальных свойств новых борсодержащих барьерсерпентинитового и свинцовобариевого цементов (2.76). Изучалась радиационная стойкость бетонов (2.15; 2.48). Предварительные данные (2.15) указывают на возможность замены нержавеющей стали полимербетонами при облицовке различных емкостей, используемых в ядерной энергетике, если интегральная доза облучения не превышает $5 \cdot 10^8$ рад. Интересна работа (2.85) по поиску такого места в слое материала, хорошо проводящего тепло в среде с плохой теплопроводностью, где наибольшая температура слоя будет минимально возможной.

Ярд докладов был посвящен методикам и приборам для измерений полей излучения, а также задачам лучевой терапии.

На секции «Ядерные константы» было рассмотрено 14 докладов.

Существенным шагом вперед следует считать создание комплекса программ подготовки групповых констант для расчета реактора и его защиты (3.3). В основе комплекса — система АРАМАКО, рассчитывающая блокированные константы с использованием 26-групповой библиотеки сечений взаимодействия нейтронов с веществом в подгрупповом представлении информации по резонансным параметрам, и комплекс программ

ОБРАЗ (обеспечение расчетов защиты) (3.14) для расчета многогрупповых констант с использованием каталога нейтронных сечений в подгрупповом представлении и параметров анизотропии упругого рассеяния. Интересны также программа, формирующая массивы констант для расчетов методом Монте-Карло задач прохождения γ -излучения через вещество (3.7), и программа расчета групповых сечений выведения (3.13).

Для проведения любых расчетов важно определить влияние погрешности в сечениях на результаты расчетов. Этим вопросам посвящены доклады (3.4; 3.9; 3.10).

На секции «Защита ядерно-технических установок» рассмотрены доклады (20% всех докладов), посвященные исследованиям биологических защит реакторов различного назначения (прежде всего реакторов АЭС), ускорителей заряженных частиц, космических кораблей и изотопных генераторов электрической энергии.

Затрагиваются различные аспекты проблемы: 1) проведен анализ данных о полях излучений за защитами установок различных типов, на основании чего апробируются предлагаемые расчетные методы; 2) большое внимание уделено проектированию и строительству оптимальных и экономически оправданных защит; 3) рассмотрены радиационная обстановка при перегрузке горючего и пути уменьшения уровней облучения от оборудования первых контуров реакторов АЭС; 4) изложен подход к решению задач по обеспечению безопасности АЭС с ВВЭР для окружающей среды и общие принципы рассмотрения аварий (4.41); 5) показано, что полученная на ускорителях заряженных частиц информация о коэффициентах перехода от плотности потока частиц к мощности эквивалентной дозы для различных типов корпускулярного излучения может служить основой при разработке санитарно-гигиенических норм облучения.

Анализ представленных докладов позволяет сделать вывод, что созданные комплексы программ расчетов защит ядерно-технических установок различного назначения существенно снижают затраты на проектирование защит и дают более точную информацию о полях излучений за ними.

Проведенная конференция, несомненно, будет способствовать дальнейшему развитию и координации исследований в нашей стране по защите от проникающих излучений.

Труды конференции предполагается издать в 1975—1976 гг.

МАШКОВИЧ В. П.

IV Всесоюзная конференция по физике и технике высокого вакуума

Конференция состоялась 29—31 октября 1974 г. в Ленинграде. В ней участвовали около 600 человек. Было представлено около 200 докладов и сообщений по следующим направлениям: физика и физическая химия поверхностных и обменных процессов в сверхвысоком вакууме; техника сверхвысокого вакуума в приборостроении, физике высоких энергий и ядерной физике; расчет и проектирование сверхвакуумных систем; конденсация и криосорбция сильноразреженных газов; вакуумная технология в электровакуумном и тонкопленочном приборостроении; автоматизация вакуумного оборудования и процессов; приборы, аппа-

ратура и научно-методические вопросы вакуумных измерений; метрология вакуума.

Выступивший на открытии конференции с обзорным докладом «Получение сверхвысокого вакуума в камерах ускорителей и накопительных колец для встречных соударений» академик А. Л. Минц подчеркнул важную роль дальнейшего развития сверхвысоковакуумной технологии в связи с созданием нового поколения ускорителей и в особенности ускорительно-накопительных комплексов. Среднее давление в камерах накопительных колец должно составлять $\sim 10^{-10}$ торр, а в областях

взаимодействия встречных пучков — менее 10^{-11} торр. При этом время жизни накопленных пучков и уровень фоновых взаимодействий с остаточным газом становятся приемлемыми для постановки физических экспериментов. Чтобы обеспечить такие условия, необходимо реализовать целый комплекс конструктивно-технологических мер, включая выбор оптимальных насосов и схем их размещения, режимов откачки, конструкционных материалов, методов тепловой и поверхностной обработки камер.

Как пример рассматривалась вакуумная система накопителя НАП-М (В. В. Анашин и др.). Камера накопителя длиной около 50 м откачивается до $5 \cdot 10^{-10}$ торр 14 комбинированными титановыми насосами с быстротой действия 250 л/с каждый. Только при таком вакууме удалось экспериментально наблюдать электронное «охлаждение» пучка протонов. При более высоком давлении электронное охлаждение затемялось фоновыми взаимодействиями.

Замена диффузионных паромасляных насосов магниторазрядными в вакуумной системе синхротрона ИТЭФ, даже без переборки и очистки вакуумных камер линейного и кольцевого ускорителей, заметно повысила эксплуатационную надежность установки. В линейном ускорителе И-2 полностью прекратились пробои (К. К. Оносовский и др.).

Существенная роль высоковакуумной технологии в решении проблем управляемого термоядерного синтеза отмечалась в выступлении В. А. Глухих и обзорных докладах «Вакуумные аспекты проектирования экспериментальных термоядерных установок» (Д. В. Серебренников и др.) и «Легкие примеси в токамаках» (Е. А. Масленников и др.). В первом докладе, в частности, приведены структурная схема и проектные параметры вакуумной системы гипотетического реактора типа токамак. Для откачки камеры предусматривается комбинированная система модульного типа на основе криосорбционных и компримирующих насосов с суммарной быстротой действия $\sim 10^7$ л/с.

В материалах конференции нашло отражение заметное совершенствование методов проекторочных расчетов вакуумных систем. В нескольких докладах анализировалось пространственное распределение молекулярных потоков в сложных элементах вакуумных систем (В. Ф. Головинкин, Л. С. Гуревич, А. М. Макаров и др.). Применение математического аппарата теории лучистого теплообмена позволило построить функции поверхностного распределения плотности молекулярного потока для различных компоновок структур с сорбирующими стенками. В частности, сформулирован общий критерий оптимизации таких структур, состоящий в наиболее полном использовании сорбирующих свойств стенки в любой ее точке. Показана низкая эффективность большинства известных схем испарительных и адсорбционных насосов и предложены компоновки, дающие лучшее приближение к оптимальной схеме.

Нетрадиционный подход к анализу вакуумных систем был изложен в докладе В. К. Гришина. Вместо таких характеристик, как эффективная быстрота откачки и проводимость, автор использует группу интегральных характеристик, определяющих массообмен в анализируемой камере (например, коэффициент захвата структуры с сорбирующими стенками, коэффициент возврата молекул на объект и т. п.). Математический аппарат теории лучистого теплообмена позволяет на этой основе построить замкнутую систему уравнений, решение которой дает представление о пространственном распределении молекулярной концентрации.

Б. Д. Ершовым и Г. Л. Саксаганским развит метод анализа вакуумных систем со сложной геометрической структурой (метод эквивалентных поверхностей). Метод состоит в последовательном упрощении анализируемых систем путем замены отдельных трехмерных компонентов эквивалентными поверхностями, которым приписываются некоторые характеристические функции.

Среди большого числа докладов по сверхвысоковакуумным средствам откачки необходимо отметить работы по созданию новых электрофизических и криогенных средств. Разработан ряд магниторазрядных насосов диодного типа НМД с оптимизированными электродными блоками, значительно превосходящих по параметрам выпускаемые промышленностью насосы НЭМ и НОРД (О. К. Курбатов и др.). Ряд включает насосы с быстротой действия 6; 25; 63; 100; 250; 630 и 1000 л/с (по воздуху) и предельным остаточным давлением менее $5 \cdot 10^{-10}$ торр. Быстрота действия НМД практически постоянна в диапазоне давлений 10^{-8} — 10^{-4} торр; насосы устойчиво работают вплоть до 10^{-3} торр; давление запуска 10^{-2} торр. Их масса и габариты в полтора — два раза меньше, чем у промышленных насосов. Для питания насосов используются унифицированные блоки трех типов с напряжением холостого хода 7 кВ. Насосы могут использоваться в системах с автоматизированным управлением.

Для высокопроизводительной откачки водорода в ионных источниках, сильноточных инжекторах и экспериментальных термоядерных установках широкое применение найдут, по-видимому, сорбционные агрегаты на основе электродуговых испарителей титана (Л. Н. Саблев и др.). Разработанные модификации агрегатов, в которых титан конденсируется на охлаждаемой водой стенке, характеризуются высоким значением коэффициента использования геттера (до 0,85), надежны в эксплуатации и имеют быстроту действия до 10^5 л/с (по водороду); рабочий диапазон давлений $5 \cdot 10^{-2}$ — 10^{-7} торр.

Для длительной откачки водорода при сверхвысоком вакууме, как показано в работе Ю. А. Баловнева, эффективно совместное использование магниторазрядного и палладиевого насосов. Последний имеет очень большой рабочий диапазон давлений (вплоть до атмосферного), длительный ресурс и высокие удельные характеристики: насос с быстротой действия 600 л/с при 10^{-8} торр весит менее 1 кг.

В последние годы возрос интерес к различным методам криогенной откачки (конденсации, криосорбции на слоях отвердевших газов, криоадсорбции на поверхностно-активных веществах, криозахвату). В докладе С. Ф. Гришина и др. был описан криогенный сверхвысоковакуумный агрегат, состоящий из форвакуумного и двух конденсационных насосов. Диапазон давлений агрегата 10^{-12} —760 торр, быстрота действия (по водороду) 900 л/с при расходе жидкого гелия $\sim 0,2$ л/сут.

М. П. Ларин и др. описали несколько оригинальных насосов и ловушек, в которых использована криосорбция слоями переохлажденных конденсатов двуокиси углерода и азота. Переохлаждение конденсатов осуществляется откачкой их паров; при этом формируется пористый блок. Характеристики одного из насосов: быстрота действия $\sim 10^4$ л/с, предельное остаточное давление менее 10^{-12} торр, расход жидкого гелия 0,3 л/ч, масса — менее 80 кг.

В ряде докладов (~ 40) обсуждались вопросы технологии высоковакуумных систем и конструирования их элементов. Анализ эксплуатационной надежности откачного оборудования, арматуры, вакуумметрических при-

боров и другой аппаратуры проведен в докладе С. Г. Апеля и др. Математическая модель отказа узла вакуумной системы и попытка дать прогноз надежности проектируемых вакуумных установок представлены в докладе Е. А. Деулина и др.

В целом конференция показала углубление и детализацию представлений о механизмах взаимодействия разреженных газов с твердыми поверхностями. Развивается техника криогенного вакуума, делается упор на оптимизацию конструктивно-технологических решений элементов вакуумных систем и на переход к автоматизированному управлению. Несомненна тенденция

к подробному математическому анализу проектируемых высоковакуумных систем.

Отдельные из представленных на конференцию докладов опубликованы в сборнике «Вопросы атомной науки. Серия «Физика и техника высокого вакуума» (Харьков, 1974). Доклады по технологии и оборудованию электровакуумного производства будут напечатаны в 1975 г. в сборнике «Электронная техника». Большую часть остальных докладов предполагается депонировать в ЦНИИ «Электроника».

САКСАГАНСКИЙ Г. Л.

Рецензии

Ушаков Б. А., Никитин В. Д., Емельянов И. Я. **Основы термоэмиссионного преобразования энергии.** М., Атомиздат, 1974, 22 л., 2 р. 40 к.

Цель рецензируемой книги — ознакомить читателей с состоянием проблемы в целом и представить ее отдельные аспекты.

В первых двух главах авторы знакомят читателей с основными понятиями термоэлектронной эмиссии, уделяя особое внимание работе выхода электродов.

Основные физические процессы в низкотемпературной плазме теоретически рассмотрены в третьей главе. На основе простых рассуждений выведены хорошо согласующиеся с экспериментальными данными уравнения переноса вещества и энергии в межэлектродном зазоре преобразователя. Анализ распределения по зазору параметров плазмы и выходных характеристик преобразователя для различных режимов работы свидетельствует о наибольшей эффективности и перспективности дугового режима работы преобразователя.

Экспериментальный материал по электрическим и энергетическим параметрам преобразователя — вольтамперным характеристикам при использовании электродов из наиболее перспективных материалов представлен в четвертой главе. Оценено влияние температур электродов и межэлектродного зазора на электрические характеристики; даны рекомендации по выбору оптимального рабочего напряжения. Приведенный материал может быть использован в качестве исходных данных при проектировании реальных преобразователей. Рассмотрено формирование мощности преобразователя и изложена методика теплоэлектрического расчета реальной конструкции преобразователя с приведением некоторых результатов численных оптимизационных расчетов, указывающих на сильное влияние неизотермичности эмиттера.

В пятой и шестой главах дан общий обзор энергетических термоэмиссионных установок относительно ма-

лой мощности с различными источниками тепла. Обращено внимание на возможность использования тепловых трубок и рассмотрены происходящие в них физические процессы.

Об использовании термоэмиссионного преобразователя в сочетании с ядерным реактором в качестве источника тепловой энергии рассказано в седьмой главе. Проанализированы особенности работы преобразователей при различных компоновках, в том числе влияние профилирования энергосъемления в реакторе и неравномерности выделения тепла по длине эмиттера на характеристики преобразователя, влияние газообразных продуктов деления на стабильность геометрии узлов преобразователя и электрические характеристики. Дан обзор основных направлений конструктивной реализации реакторов-преобразователей на примерах разрабатываемых за рубежом проектов и созданного в СССР первого в мире реактора-преобразователя.

В последних главах указаны условия работы и сформулированы требования к материалам узлов встроенного в реактор преобразователя; представлена информация справочного характера о свойствах возможных конструкционных материалов и рекомендации по их выбору.

Библиография (240 наименований) охватывает практически все отечественные и большинство зарубежных публикаций по данному вопросу.

Следует отметить методическую последовательность, логичность построения и доходчивость описания теории термоэмиссионного преобразования.

Представляется желательным более глубокое освещение отдельных весьма важных вопросов (влияние облучения на свойства и стабильность конструкционных материалов, ресурсные испытания преобразователей, анализ роли тонкой кристаллографической структуры поверхности электродов).

СКОРИК Ю. И.