

в бланкете воспроизводства трития оказывается возможным использование водяного охлаждения;

дивертор с одним нулем внизу является эталонной конфигурацией;

диверторные устройства будут проектироваться как сменные модули;

при необходимости для улучшения конфигурации катушки полоидального поля могут быть помещены внутри тороидальных катушек;

все внешние катушки полоидального поля могут быть сверхпроводящими;

трансформаторная колонна не требуется.

Инженерная группа детально обсудила общие черты проекта и обслуживания, систему поло- и тороидального полей, первую стенку, бланкет, защиту и дивертор, испытательные устройства.

На заседании нейтронной группы были приняты решения, определяющие главные черты конструкции реактора. Материал первой стенки выбран из сравнения способности разных материалов противостоять распылению и воздействию срывов плазмы и одновременно выдерживать стационарную тепловую нагрузку. Два основных материала — сталь и алюминий — могут противостоять распылению, однако не выдерживают воздействие срывов. Для части камеры, не подвергающейся максимальному воздействию плазмы при срыве, была выбрана сталь как наиболее изученный материал с известным поведением при облучении. Для защиты внутренней поверхности камеры рекомендован графитовый экран, передающий тепло на стенку излучением. Тепловые и прочностные расчеты различных конструкций первой стенки с использованием стали и графита должны быть представлены к следующей сессии.

Было принято решение о введении в конструкцию реактора литиевого бланкета с элементами, выполненными на основе керамики. Предпочтительным материалом был назван ортосиликат Li_4SiO_4 , имеющий по теоретическим оценкам достаточно высокое давление насыщенных паров в диапазоне 500—700 °С. Обсуждаемые в качестве альтернативных решений варианты бланкетов с литиевыми эвтектиками типа $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ и LiPb_3Bi_4 были признаны более сложными с точки зрения инженерных решений и должны рассматриваться в качестве запасного варианта. В обоих вариантах необходимо достижение коэффициента воспроизводства трития в реакторе не ниже 0,6, для этого требуется покрыть бланкетом 50—60% поверхности плазменной камеры.

Расчеты и конструкторские проработки показали, что проблема отвода тепла от диверторных пластин может быть решена в конструкции, где внешний слой толщиной 2—3 мм выполнен из сплавов тяжелых металлов (молибдена или вольфрама). Однако вследствие их сильного распыления и отсутствия данных, подтверждающих радиационную стойкость при полном ресурсе ИНТОРа, пластины предлагается делать сменными с ресурсом 0,5—2 года.

На сессии была сформирована группа для рассмотрения вопросов безопасности и охраны окружающей среды. Задача — влиять на проект ИНТОРа таким образом, чтобы он мог быть осуществлен с этой точки зрения в любой стране — члене МАГАТЭ.

Сессия прошла успешно. Следующая состоялась в январе 1981 г.

ПИСТУНОВИЧ В. И.

3-я международная конференция по радиационной технологии

Конференция проходила 26—31 октября 1980 г. в Токио (Япония). В ее работе участвовали 297 специалистов из 32 стран мира. Было заслушано 143 доклада, в основном прикладного характера, в которых приведены многочисленные примеры промышленного внедрения радиационных процессов. Отмечалось, в частности, что в США стоимость продукции, выпущенной в 1979 г. с использованием радиационной технологии, составила 3 млрд. долл.

Можно выделить две большие группы проблем, рассмотренных на конференции: технологические и аппаратные вопросы осуществления радиационных процессов. Большое внимание было уделено источникам излучения. В настоящее время в радиационной технологии используют такие источники, как препараты ^{60}Co и ускорители электронов, перспективными считают ^{137}Cs и радиационные контуры ядерных реакторов.

Установки с источниками γ -излучения. В докладе К. Моргенштерна (США) приведены данные о мощности изотопных гамма-установок с источниками ^{60}Co в мире (~1 МВт). В США насчитывается около 20 изотопных установок для стерилизации, и они сосредоточены в 10 промышленных фирмах, а всего, согласно докладу Дж. Рэнсохофа, эксплуатируется 26 с ^{60}Co общей активностью 20 млн. Ки. В США используют главным образом хранилища бассейнового типа, что позволяет легко изменять конфигурацию и распределение загрузки в облучателе в зависимости от вида облучаемой продукции. Такая конструкция считается предпочтительной, несмотря на несколько большую ее стоимость по сравнению с установками, имеющими хранилища сухого типа.

По данным Н. Тамура, общая активность облучателей гамма-установок, действующих в Японии и сосредоточенных в четырех промышленных фирмах, составляет 2 МКи (~30 кВт). Три из этих установок предназначены для стерилизации медицинских инструментов и оборудования

и одна — для радиационной обработки картофеля. Наиболее удобным типом хранилища источников также признан бассейновый. На небольших установках полупромышленного типа с активностью источников ^{60}Co ~100 кКи используют свинцовую защиту хранилища и бетона рабочих камер. Для облучения больших количеств картофеля создана специальная установка на основе опыта использования двух облучателей плоского типа с ^{60}Co и конвейерной системы перемещения стандартных картонных упаковок в Исследовательском центре в Такасаки. Максимальная ее производительность 13 т/ч, активность ^{60}Co 100 кКи (~1,5 кВт). Это обеспечивает облучение картофеля дозой, разрешенной в Японии (максимальная 15 крад, минимальная 6 крад). При создании промышленной установки было решено отказаться от плоских облучателей и параллельных конвейерных линий ввиду необходимости применения большегрузных контейнеров размером $100 \times 160 \times 130$ см, вмещающих 1,5 т облучаемого картофеля каждый. В связи с этим на установке предусмотрен кольцевой конвейер диаметром около 10 м и центральный источник, выполненный в виде цилиндрической стойки диаметром 1 и высотой 1,2 м, по образующей которой размещены препараты ^{60}Co . Активность источника промышленной установки 300 кКи. Конструкция хранилища (водный бассейн глубиной 6,4 м) и защита рабочей камеры, выполненная из бетона толщиной 2 м, позволяет увеличивать загрузку ^{60}Co до 1 МКи. Первоначальную загрузку и периодическую замену источников проводят через верхнюю разборную часть бетонной защиты. На установке с 1974 г. обработано свыше 100 тыс. т картофеля, стоимость облучения составила 2,3 иены/кг, что вызвало повышение стоимости продукта на 1,4—2,5%.

Большое внимание уделяется радиационной безопасности в связи с крупномасштабным использованием изотопных радиационных установок. В частности, Исследова-

тельским центром в Такасаки (Япония) разработан транспортный контейнер для перевозки источников ^{60}Co большой активности. Контейнер испытан на падение с высоты 9 м и выдерживает температуру 800 °С в течение 30 мин.

В докладе В. Марковича (Югославия) описана изотопная гамма-установка Института им. Б. Кидрича, созданная французскими специалистами и предназначенная для стерилизации медицинских инструментов и оборудования. В установке использован плоский облучатель и многорядный (по три ряда с каждой стороны облучателя) конвейер для перемещения стандартных упаковок размером $48 \times 48 \times 45$ см. Одновременно облучают 288 упаковок, которые последовательно проходят все позиции вдоль обеих сторон облучателя. Результаты расчета поля поглощенной дозы в блочных объектах такого типа приведены в докладе Г. Д. Степанова (СССР).

В. Левек рассмотрел основные итоги 25-летней деятельности КАЭ Франции по развитию радиационной технологии. В настоящее время радиационные процессы используют три французские промышленные фирмы, в том числе «Консерватом», имеющая установку с источниками ^{60}Co с активностью около 2 МКи. В Исследовательском центре по применению ионизирующих излучений CAPRI работают две полупромышленные гамма-установки для осуществления радиационных процессов.

Для изучения радиационно-термических процессов, в частности испытания материалов, используемых на АЭС в условиях совместного воздействия излучения и перегретого пара, в Японии сконструирована и создана специальная установка. Основные характеристики этой установки, состоящей из корпуса давления, парогенератора, систем автоматизации и обслуживания, привел С. Маси. Внутри корпуса диаметром 700 мм и высотой 1300 мм может быть размещен барабан диаметром 400 мм, на который наматывается отрезок кабеля. Облучают источниками ^{60}Co активностью 30 и 200 кКи, мощность дозы в реакционном объеме составляет 0,25 и 1 Мрад/ч соответственно. Температура в корпусе давления может быть повышена от комнатной до 150 °С за 5 с, кабель во время испытаний находится под напряжением, изменение температуры и давления задается программным устройством.

Возможности использования радиационных контуров ядерных реакторов в качестве мощных и экономичных источников γ -излучения рассмотрены в докладе А. Х. Брегера и А. В. Путилова (СССР). Приведены схемы радиационных контуров различных типов современных и перспективных энергетических реакторов, их основные характеристики и конструктивные решения.

В докладе С. Саго и др. (Япония) описана экспериментальная петлевая установка для изучения совместного воздействия нейтронов, γ -квантов (3–4 Мрад/ч) и осколков деления (5–20 Мрад/ч) на газообразные системы для оценки возможности производства водорода. Установка состоит из реакционного сосуда (капсула объемом 40–50 см³), находящегося в горизонтальном канале тяжеловодного исследовательского реактора, и оборудования непрерывного анализа образующихся продуктов. Для получения осколков деления в центре капсулы помещена фольга толщиной 2,1 мкм из обогащенного урана.

Установки с ускорителями электронов. Общая радиационная мощность ускорителей электронов, используемых в радиационной технологии, к концу 1980 г. составила, по данным К. Моргенштерна, около 14 МВт. Отмечается тенденция роста единичной мощности ускорителей до 100–200 кВт при энергии электронов от 0,3 до 3–4,5 МэВ.

Р. Эмануэльсон (США) описал серию ускорителей с энергией электронов 0,3 МэВ для радиационной обработки тонких слоев материалов: лабораторный ускоритель с током пучка 10 мА, ускоритель для промышленной вулканизации резиновых лент с током пучка 50 и 100 мА и разверткой 2440 мм, а также ускоритель для полупромышленных установок с током пучка 15 мА. Новой разработкой является ускоритель с энергией электронов 0,55 МэВ и током пучка 40 мА, специально предназначен-

ный для облучения гранулированных и сыпучих материалов. Ускорительная трубка соединена с источником высокого напряжения гибким кабелем, что позволяет монтировать конвейерную систему непосредственно на поточной линии в цехе. Скорость конвейера может изменяться от 4,5 до 45 м/мин, что в сочетании с 915-мм разверткой делает эту установку универсальной. Местная свинцовая защита, окружающая ускорительную трубку и часть конвейера, снижает мощность дозы до 0,25 мР/ч, что позволяет работать в зоне вокруг ускорителя считать радиационно-безопасной. В докладе также описаны возможные схемы размещения ускорителей в специальных помещениях, монтируемых из стандартных бетонных блоков. Такие установки создаются с более мощными ускорителями, в частности, описана установка с ускорителем электронов, имеющим ток пучка 50 мА и энергию электронов 2,5 МэВ.

В докладе С. Ота (Япония) приведены данные о производстве термоусаживающихся полиэтиленовых трубок с использованием ускорителей электронов в зависимости от диаметра трубок (производятся в основном трубки от 25 до 300 мм в диаметре) могут быть использованы ускорители с энергией электронов 0,5–2 МэВ. При большом диаметре трубок (100–300 мм) необходимо или их вращение, или создание специальной кольцевой развертки для равномерного облучения (при дозе 20–30 Мрад). При производстве вспененного полиэтилена (доклад Н. Сагана, Япония) особенно важное значение имеет правильное сочетание технологических факторов, от которых зависит качество продукции: дозы, температуры, вязкости вспениваемого полиэтилена и пр. Равномерное облучение по всей толщине материала обеспечивается использованием двух ускорительных трубок, питаемых одним источником высокого напряжения. Облучают в специальном помещении с бетонной защитой, внутри которого полиэтиленовая лента последовательно протягивается под каждой из ускорительных трубок, поворачиваясь на специальных валах.

Подробное сравнение радиационного и химических способов сшивания полиэтилена приводится в докладе А. Барлоу и др. (США). В частности, при облучении кабеля с полиэтиленовой изоляцией (электроны энергией 1 МэВ, мощность ускорителя 50 кВт) стоимость радиационной обработки примерно вдвое ниже, чем в случае иницирования сшивания полиэтилена перекисными соединениями. Радиационное сшивание изоляции проводов и кабелей широко используется также в Японии (доклад Е. Ода). Основное преимущество заключается в возможности увеличения скорости обработки продукции при использовании все более мощных ускорителей со сравнительно невысокой энергией электронов, что соответствует направлению научно-технического прогресса в кабельной промышленности. Доза облучения находится в диапазоне 20–40 Мрад, после сшивания изоляции может выдерживать кратковременный нагрев до 230 °С. Сравнительно тонкие слои вещества облучаются также при вулканизации резиновых лент (доклад Д. Пирсона, США) и радиационной обработке тканей (доклад В. Уэлша, США). Для проведения этих процессов применяются мощные ускорители с энергией электронов до 1 МэВ. При облучении блочных объектов решающую роль играет проникающая способность электронов, увеличивающаяся с ростом энергии. Так, для процесса стерилизации используются ускорители с энергией электронов 4–5 МэВ, их единичная мощность (согласно докладу В. Хандлоса, Дания) достигает 150–200 кВт. Указано, что мощность ускорителей составляет 20–25% общей мощности установок для радиационной стерилизации в мире.

Часть докладов была посвящена использованию радиационных процессов для обезвреживания сточных вод и очистки промышленных газовых выбросов. Т. Катаяма и К. Кавамура (Япония) описали полупромышленную установку для очистки отходящих газов металлургического производства от окислов серы и азота производительностью 3000–10000 н. м³/ч. Очищаемые газы облучаются

в реакционном объеме диаметром 250 и высотой около 300 см двумя встречными пучками ускоренных электронов энергией 0,6 МэВ с последующим поглощением образовавшихся продуктов специальной системой очистки. Мощность дозы в реакционном объеме изменяется от 0,1 до 2 Мрад/с. Для равномерного облучения всех элементов газового потока (необходимая доза 1,5 Мрад) предусмотрено интенсивное перемешивание посредством специальной газодувки. Очистке сточных вод от примесей различных отходов химических производств посвящен доклад М. Вахино (Япония). Экспериментально изучено воздействие излучения совместно с другими факторами, в частности воздействием озона и биологической очистки. Аппарат для радиационной обработки представляет пять последовательно соединенных колонн, в нижнюю часть которых подается газ, а через верхнее входное окно, закрытое фольгой из нержавеющей стали толщиной 50 мкм, в реакционный объем аппарата проникает пучок ускоренных электронов. Показана высокая степень очистки от большинства примесей при дозе от 0,5 до 15 Мрад (в зависимости от вида примесей) и синергический эффект при воздействии излучения и озона.

Обзор советских разработок ускорителей и установок для проведения технологических процессов на их основе сделал М. П. Свиньин (СССР).

Экономика радиационной технологии. На конференции были подробно рассмотрены экономические аспекты создания установок с ускорителями электронов и источниками ^{60}Co и отмечена перспективность ^{137}Cs и радиационных контуров ядерных реакторов. Показано, что за 20 лет интенсивного развития радиационной технологии стоимость излучения, используемого для проведения технологических процессов, снизилась примерно в 25 раз (с учетом инфляционного фактора, характерного для капиталистических стран). Важнейшую роль в таком снижении стоимости сыграло повышение единичной мощности радиационных установок. Так, мощность ускорителей в начальный период их использования, как правило, не превышала 15 кВт, в настоящее время широко распространены ускорители мощностью 100—200 кВт. Соответственно на первых изотопных гамма-установках активность источников не превышала 500 кКи, на современных установках достигает 4 МКи.

Абсолютные значения стоимости эксплуатации мощных ускорителей (например, динамитрона, США, мощностью 200 кВт) составляют ~0,5 долл./кВт·ч. Эксплуатационные расходы для гамма-установок с ^{60}Co мощностью 3—5 кВт оцениваются в 7—8 раз выше.

При производстве 200 т/мес стоимости радиационно-модифицированного вспененного полиэтилена примерно в 2 раза ниже, чем продукции, произведенной химическим способом. Стоимость получения шпунтовой полиэтиленовой изоляции проводов и кабелей при радиационной технологии (доза 15 Мрад) в 2,2 раза ниже, чем при использовании других способов. Радиационная вулканизация резиновой ленты (при дозе 10 Мрад) дает продукцию в 8 раз более дешевую, чем при традиционной термической вулканизации. Радиационная стерилизация медицинских инструментов и оборудования в 4,5 раза экономичнее других видов стерилизации, радиационное консервирование продуктов питания (при дозе 0,5 Мрад) экономичнее других способов почти в 100 раз. Таким образом, в некоторых технологических процессах использование ионизирующего излучения является наиболее экономичным способом их осуществления.

Большое внимание на конференции было уделено надежности промышленных источников излучения для радиационной технологии. Г. Госсен (Франция) описал две изотопные установки с источниками ^{60}Co и водной защитой, предназначенные для стерилизации медицинского оборудования и установленные непосредственно в цехах. Простота конструкции таких установок обеспечивает их высокую надежность, и отказы зарегистрированы лишь в системах подачи и перемещения облучаемых объектов. Для ускорителей электронов максимальное число отказов зарегистрировано в вакуумных системах и менее 1/3 — в системах питания. В Японии среднее годовое число нерабочих дней ускорителей из-за отказов различных систем составляет 20 и коэффициент готовности установок ~0,95. Отмечено широкое использование микропроцессорных систем для управления и контроля хода радиационных процессов. Комплекс мероприятий по обеспечению высокой эксплуатационной надежности радиационных установок позволил добиться практически полного исключения простоев и непроизводительных расходов и как следствие этого высокой экономичности процессов радиационной технологии.

Конференция была хорошо организована и подтвердила важность решения аппаратурных вопросов, которые являются определяющими для быстрого внедрения радиационной технологии в практику. Изучение опыта осуществления радиационных процессов за рубежом будет несомненно полезным при анализе перспектив научно-технического прогресса в нашей стране.

ПУТИЛОВ А. В.

XXIX Сессия Научного Комитета ООН по действию атомной радиации НКДАР

Сессия состоялась в сентябре 1980 г. в Вене (Австрия). В ее работе участвовали специалисты 20 стран, а также представители международных организаций: ЮНЭП, МАГАТЭ, ВОЗ, МКРЗ (Международной комиссии по радиационной защите) и МКРЕ (Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям). На сессии было рассмотрено 19 документов, подготовленных Секретариатом НКДАР, 13 из них будут включены в доклад Генеральной Ассамблеи ООН 1982 г., шесть (по отдельным радионуклидам) подготавливаются для ЮНЭПа. По установившейся практике в составе Комитета были организованы три рабочие подгруппы: физическая, биологическая и генетическая.

Физическая подгруппа рассмотрела 14 документов, в том числе следующие.

Документ «Модели оценки дозы». НКДАР согласился с тем, что первичная информация о дозе облучения должна приводиться в единицах поглощенной дозы. Оправдано также использование понятий эквивалентной и эффективной эквивалентной дозы с применением соответствующих весовых множителей для оценки степени радиационного риска. Описаны дозиметрические модели по отношению к источнику, индивидууму или популяции в целом, модели переноса радионуклидов в атмосфере, почве (включая растительную и пищевые цепочки), водоемах (реках, озерах, морях и океанах). При этом рассматриваются равновесные и динамические (там, где это необходимо) модели, которые применяет Комитет в своих оценках.

Документ «Природные источники ионизирующего излучения». При оценке дозы внутреннего облучения учтены