

облученного полистирола под действием температуры. Механизм изменения проводимости подобен эффекту высвечивания термоллюминесцентных дозиметров, но техника регистрации (измерение тока проводимости) несомненно проще. Интересные результаты по изменению сопротивления воды при облучении представлены в работе Дж. Макдональда и К. Шорта (Англия).

Рассматривались и вопросы, связанные с получением и использованием изотопов в биологическом эксперименте и клинической практике. На отдельной секции были рассмотрены короткоживущие изотопы. В докладах (Т. Джонс, Англия; М. Тер-Погоссян, США; Дж. Лафлин и др., США) четко показаны преимущества и возможности при диагностическом использовании C^{11} , O^{15} , N^{13} , F^{18} .

Специальная секция и ряд экспонатов технической выставки были посвящены применению счетно-

решающих устройств в медицине (диагностике, мониторинговании функций организма, планировании лечения и т. п.). В интересной работе Дж. Каннингема и Дж. Нидерера (Канада) показана возможность изучения биологических механизмов с помощью математических моделей.

Конференция продемонстрировала широчайшее внедрение атомной физики в медицину, подтвердила настоятельную необходимость и перспективность теснейшего контакта этих двух наук и эффективность использования физических методов в биологических и клинических исследованиях. Она была хорошо организована. Краткие тезисы докладов предполагается опубликовать в журнале «Phys. in. Med. and Biol.» (Англия).

В. С. ХОРОШКОВ

Симпозиум по обращению с отходами от переработки облученного ядерного горючего

Симпозиум проходил с 27 ноября по 1 декабря 1972 г. в Париже. Он был организован МАГАТЭ и Евратомом. В работе приняли участие около 250 специалистов из 27 стран и 11 международных организаций. Были обсуждены возможные методы обращения с высокоактивными отходами, образующимися при экстракционной переработке облученного горючего, такие, как хранение жидких отходов в емкостях, захоронение их в подземные горизонты и искусственные полости, образованные ядерными взрывами, остекловывание и битумирование. Кроме того, заслушаны доклады по обращению с отходами от неводных методов переработки облученного ядерного горючего, отделению трансурановых элементов, а также доклады по оценке радиационной безопасности в связи с выбросами в атмосферу радиоактивных иода, криптона и трития.

Несколько докладов США было посвящено новым методам удаления отходов — трансмутации долгоживущих осколков деления, запуску высокоактивных отходов в космос и захоронению твердых высокоактивных отходов во льдах Антарктиды.

В отношении обращения с радиоактивными газами авторы пришли к единому мнению, что выброс криптона в атмосферу не приведет к его предельно допустимой дозе в воздухе до 2000 г., однако, чтобы избежать локальных загрязнений, необходимо улавливание криптона во всех странах. Технология такого улавливания криптона разработана и экономически оправдана. Кригтон после извлечения предлагается хранить в емкостях или сбрасывать в море на глубину 4000—5000 м в герметичных контейнерах ($p = 150$ атм.). Однако в этом случае есть опасность утечки газа из контейнера и выноса нижних слоев воды, насыщенных криптоном, на поверхность моря за счет конвекции.

Методы концентрирования трития путем селективного ионообмена и фракционной перегонки дороги и практически неприменимы для больших объемов. Поэтому по-прежнему принимаются два способа удаления трития — выброс с паром в атмосферу и сброс конденсатов в реки при достаточном разбавлении. Однако захоронение жидких отходов, содержащих три-

тий, в естественные подземные горизонты более надежно.

Наиболее надежный метод хранения жидких радиоактивных отходов, как показал опыт СССР, США, Англии и Франции, — хранение в емкостях из нержавеющей стали с двойной защитой и охлаждением при помощи змеевика, что обеспечивает отвод тепла, вызываемого радиоактивным распадом. Для разбавления водорода, выделяющегося вследствие радиолиза растворов, предусматривается продувка емкостей воздухом.

В других странах, в отличие от Советского Союза, при хранении предусматривается подвод пульсационного и барботажного воздуха для перемешивания растворов во избежание накопления осадков на дне емкости, а также для отдувки газов, образующихся за счет радиолиза. Стоимость хранения высокоактивных растворов оценивается в 1—2 долл./л. Хранение жидких высокоактивных отходов в глубоких геологических формациях подвергается сомнению (США, ФРГ, Италия). Определяется степень риска этого метода.

В докладе представителей США анализируется возможность использования для захоронения высокоактивных отходов подземных полостей от ядерных взрывов. Под действием тепла от радиоактивного распада растворы разогреваются до кипения, пар удаляется, а сухой остаток разогревается до плавления, расплавляет окружающую силикатную породу — образует стекломасса, которая за 90 лет остывает и превратится в монолит. Опасность метода в том, что вода может залить полость. Кроме того, сооружения завода должны выдерживать силу подземного взрыва.

Наибольшее внимание было уделено отверждению высокоактивных отходов. В докладах представителей США, Англии, Франции, ФРГ проводились результаты работы опытных, а также проектов промышленных и опытно-промышленных установок. Так, в Ханфорде (США) на установке WSEP опытно проверялись три метода остекловывания (двухстадийный с кальцинацией в распылительной сушилке и последующим плавлением в тигле, одностадийный процесс

остекловывания в тигле и непрерывный процесс получения фосфатных стекол) с целью получения сведений, необходимых для выбора метода проектирования и обслуживания установки для отверждения отходов. Установка проработала четыре года; в результате оптимальной считается кальцинация и последующее плавление стекла в плавильнике из жаропрочной стали. Но несмотря на то что в США издан законопроект, по которому заводы, перерабатывающие ядерное горючее, обязаны в течение пяти лет отверждать жидкие радиоактивные отходы, а через 10 лет транспортировать отвержденные высокоактивные отходы в Федеральное хранилище на постоянное хранение, промышленное внедрение процессов отверждения откладывается до 1980 г., а хранилище отходов предполагается построить лишь к 1986 г.

В Айдахо с 1963 г. работает установка по кальцинации отходов в аппарате с кипящим слоем производительностью 250 л/ч жидких отходов, где получается 45 л/ч кальцината. Порошок хранится в герметичных емкостях с воздушным охлаждением. Стоимость установки с хранением 1,25 долл/л. Однако считают, что в будущем этот порошок должен быть остеклован.

В Англии и Франции также работали опытные установки по остекловыванию реальных высокоактивных отходов производительностью ~20 л/ч. Показана техническая возможность осуществления процесса как с точки зрения получения достаточно химически и радиационно устойчивых стекол (преимущественно боросиликатных), так и с точки зрения очистки отходящих газов. При этом следует отметить, что в Англии промышленное внедрение отверждения отходов намечается не ранее чем на 90-е годы, а во Франции на ближайшие годы.

Опыты по отверждению высокоактивных отходов в ФРГ не вышли из рамок укрупненных лабораторных установок, работающих на имитирующих отходах. Так, на установке проверяется возможность превращения отходов в боросиликатные стекла, а в лабораторных условиях начата разработка термитного процесса отверждения с использованием тепла химических реакций (в частности, смеси MnO_2 и Al). Считают, что промышленное внедрение процессов остекловывания в ФРГ произойдет не ранее чем через 30 лет.

Битумирование отходов с удельной активностью до 10 кюри/л проводится на заводе «Еврокемик» (Моль, Бельгия). Для отходов с большой активностью предусматривается временное хранение и дальнейшее остекловывание. Разрабатывается низкотемпературный процесс остекловывания жидких отходов — превращение их в алюмофосфатную керамику (программа «Лотэс»). Полученный продукт обладает хорошей теплопроводностью и высокой химической стойкостью. Низкая температура процесса (300°С) снимает вопрос подбора материалов, однако технология процесса еще не отработана.

При обсуждении методов хранения остеклованных продуктов специалисты пришли к выводу, что, как правило, хранилище предполагается строить при установках. Обязательно предусматривается воздушное или водяное охлаждение могильника.

В США и ФРГ разрабатывается вопрос захоронения твердых отходов в соляные выработки, однако на организацию промышленного хранения в соляных выработках эти страны еще не решаются, так как оно связано с большим риском и еще не установлены требуемые сроки хранения (300—600 лет).

Исследования по переработке высокоактивных отходов от неводных методов регенерации ядерного горючего представлены только СССР и Францией. Кажется перспективным перевод отходов в твердые монокристаллические препараты (фосфатные стекла, криолитные структуры). Доклад представителей СССР вызвал большой интерес, особенно со стороны французских ученых.

В докладах специалистов США была дана оценка таких проблематичных методов обращения с высокоактивными отходами, как трансмутация долгоживущих осколочных изотопов, запуск высокоактивных отходов в космос, захоронение твердых отходов во льдах Антарктиды и т. д. Однако все они находятся в начальной стадии разработки и далеки от практического внедрения, а стоимость удаления отходов такими методами значительно выше общепризнанных.

Оживленную дискуссию вызвали выводы докладов советских специалистов по вопросам остекловывания, битумирования, по подземному захоронению высокоактивных жидких отходов. В отличие от ученых других стран советские ученые показали, что по технологии метод остекловывания не только надежнее, но и дешевле хранения жидких отходов. Это объясняется тем, что при долгом хранении жидких отходов требуется постоянное строительство новых хранилищ взамен вышедших из строя (через 20—25 лет).

Советские специалисты показали и экономически оценили также возможность закачки в подземные горизонты высокоактивных отходов с удельной активностью 10—30 кюри/л. В настоящее время проводятся работы по изучению битумирования радиоактивных отходов с удельной активностью до 100 кюри/л.

В заключение были обсуждены результаты симпозиума с ответами экспертов на общие вопросы. Экспертами были специалисты из СССР, США, Франции, Англии, ФРГ и Индии.

Доклады и заключительная дискуссия показали, что к настоящему времени ведущими в области ядерной энергетики странами накоплен большой опыт по обращению с высокоактивными отходами.

Материалы симпозиума должны быть изданы в первой половине 1973 г.

Н. В. КРЫЛОВА, А. Н. КОНДРАТЬЕВ