

## Экономические аспекты обращения с радиоактивными отходами

В работе совещания экспертов по этому вопросу, которое проходило в октябре 1966 г. в МАГАТЭ, приняли участие 18 специалистов из 12 стран. Экспертами были представлены экономические расчеты по переработке и удалению радиоактивных отходов на предприятиях различных стран.

В принятой системе экономических расчетов учитываются следующие операции: сбор отходов; транспортировка; контроль до обработки и в процессе переработки отходов; переработка отходов с помощью выпаривания, ионного обмена, химической очистки или комбинации нескольких методов очистки для жидких отходов и сжигания, прессования, упаковки для твердых; контроль очищенных отходов перед их удалением в окружающую среду; удаление отходов после переработки и контроля; обработка активных концентратов перед хранением или удалением; хранение или окончательное удаление активного обработанного концентрата; контроль окружающей среды.

При определении суммы затрат предусматриваются такие статьи расходов, как: 1) оплата за труд, в том числе все виды заработной платы и поощрений, а также выходные пособия, оплата за дни болезни и т. п.; 2) затраты на материалы, химикаты, пар, газ, электроэнергию, спецодежду, а также на вспомогательные службы; 3) затраты на ремонт оборудования и содержание зданий; 4) накладные расходы — затраты на содержание управленческого и вспомогательного персонала, на транспорт, страхование и т. п.; 5) амортизационные отчисления, рассчитанные при условии, что срок службы зданий 20 лет, а оборудования 7,5 лет, и другие косвенные расходы.

Жидкие отходы с удельной активностью  $10^{-10}$ — $10^{-4}$  кюри/л можно условно разделить на две группы:

**Первая группа** — отходы с удельной активностью  $10^{-10}$ — $10^{-8}$  кюри/л. Эти отходы, как правило, не перерабатывают, а измеряют лишь их активность, после чего их удаляют в коммуникации или временно выдерживают в емкостях. Стоимость обращения с такими отходами невелика и составляет при большом их объеме ~0,4 долл. за  $1 \text{ м}^3$ . Так, например, в Харуэлле (Англия) она составляет 0,41 долл. при объеме 1 млн.  $\text{м}^3$  в год; в Аргоннской лаборатории (США) — 0,37 долл. при объеме 0,5 млн.  $\text{м}^3$  в год; в Ок-Риджской лаборатории (США) — 0,38 долл. при объеме 0,85 млн.  $\text{м}^3$  в год.

**Вторая группа** — отходы с удельной активностью  $5 \cdot 10^{-8}$ — $10^{-4}$  кюри/л. Эти сбросы подвергаются очистке различными методами. Ниже приведена таблица, в которой указаны методы очистки отходов с удельной активностью  $5 \cdot 10^{-8}$ — $10^{-6}$  кюри/л, производительность и стоимость переработки  $1 \text{ м}^3$  отходов для разных стран.

Как видно из таблицы, стоимость переработки и удаления отходов с удельной активностью  $5 \cdot 10^{-8}$ — $10^{-6}$  кюри/л при производительности выше 60 000  $\text{м}^3/\text{год}$  практически одинакова. Стоимость переработки отходов средней активности,  $10^{-5}$ — $10^{-4}$  кюри/л, при производительности 1000—4500  $\text{м}^3/\text{год}$  составляет 30—100 долл. за  $1 \text{ м}^3$  при различных методах очистки. Экономические данные по установкам большей производительности для отходов этого уровня активности не приводились.

В последнее время в некоторых странах уделяется большое внимание отверждению активных концентратов

методом битумирования. Стоимость заключения в битум  $1 \text{ м}^3$  пульпы на бельгийской установке производительностью 100 л/ч составляет 37—39 долл. При увеличении производительности установки в 3—4 раза

Производительность, стоимость переработки отходов и методы очистки

Местоположение или название предприятия	Производительность, $\text{м}^3/\text{год}$	Общая стоимость $1 \text{ м}^3$ , долл.	Схема очистки и удаления
Гренобль, Франция	950	88,0	Выпарка; кубовый остаток цементируется
Карлсруэ, ФРГ	3 000	38,3	Двухступенчатая химическая очистка; пульпа фильтруется, осадок заключается в бочки
Студсвик, Швеция	17 000	5,7	Контроль; сброс в море либо выпарка; кубовый остаток хранится в емкостях
Токай-Мура, Япония	27 700	4,7	Контроль; сброс в море с разбавлением; 50% отходов очищаются ионным обменом и электролизом; регенераты упариваются, концентрат цементируется
Моль, Бельгия	62 500	2,7	Химическая очистка с последующим ионным обменом; пульпа битумируется
Харуэлл, Англия	137 000	2,4	Химическая очистка, сорбция на вермикулите; пульпа уплотняется и захороняется
Московская станция очистки, СССР	150 000	2,7	Коагуляция, двухступенчатая ионообменная очистка; пульпа уплотняется, регенераты упариваются. Жидкий концентрат перевозится на станцию захоронения (стоимость перевозки не учтена)

стоимость может быть снижена в два раза. Общая стоимость отверждения пульпы и захоронения битумных блоков в этом случае будет значительно меньше, чем при хранении пульпы в емкостях.

Технология переработки твердых отходов в основном заключается в сортировке отходов на сгораемые и негораемые, сжигании отходов, цементировании или битумировании золы с последующим хранением в стальных бочках. Несжигаемые отходы прессыются или упаковываются и хранятся в контейнерах или траншеях. Стоимость переработки и хранения колеблется в большом диапазоне и составляет для отходов низкой активности (фон  $< 50$  мр/ч) 60—240 долл. за  $1 \text{ м}^3$ , высокой активности ( $> 50$  мр/ч) 140—3000 долл. за  $1 \text{ м}^3$ .

Экспертами США были приведены также данные

о капиталовложениях и эксплуатационных затратах по переработке отходов атомных электростанций. При чем установки байпасной очистки воды первого контура и конденсата турбин не включены в состав очистных сооружений. Для станций мощностью до 200—300 тыс. кВт капиталовложения составляют 3—5% общих капиталовложений, эксплуатационные расходы 5—10% общих затрат, а для станций мощностью 500—1000 тыс. кВт 1,5—2 и 3—5% соответственно.

В целом совещание экспертов было очень полезным. Впервые сделана попытка представить экономические данные по переработке и удалению радиоактивных отходов в сравнимых условиях в виде единых таблиц, которые будут опубликованы в докладе МАГАТЭ.

В. М. СЕДОВ

## IV симпозиум по ядерной радиоэлектронике стран-участниц ОИЯИ

В октябре 1966 г. в Праге состоялся очередной симпозиум по ядерной радиоэлектронике Объединенного института ядерных исследований, посвященный автоматизации экспериментальных исследований в области ядерной физики. На симпозиуме было представлено более 40 докладов, в которых обсуждались следующие вопросы: 1) централизация накопления и обработки экспериментальной информации и использование для этих целей универсальных цифровых вычислительных машин; 2) системы для обработки информации, зарегистрированной на фотопленке; 3) математическое программирование задач по обработке экспериментальной информации.

Усложнение и увеличение числа проводимых физических экспериментов приводит к тому, что объем информации, получаемой в ядерно-физических лабораториях, с каждым годом существенно возрастает. В некоторых случаях постановка эксперимента определяется существующими возможностями накопления и обработки информации. В связи с этим многие лаборатории большое внимание уделяют созданию центров регистрации, накопления и обработки информации и использованию для этих целей универсальных цифровых вычислительных машин. На симпозиуме данной проблеме было уделено основное внимание.

В докладе, представленном Лабораторией вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ, сообщалось о создаваемом центральном вычислительном комплексе для обработки экспериментальной информации, поступающей из всех лабораторий института. Основой комплекса будет служить быстродействующая вычислительная машина БЭСМ-6. Главным назначением этой машины является выполнение точных математических и логических операций. С машиной БЭСМ-6 будут связаны одна или две машины среднего класса типа БЭСМ-4, задачи которых состоят в проведении вспомогательных операций, вводе и выводе информации. Центральный вычислительный комплекс кабельными линиями будет связан с центрами регистрации и накопления информации (измерительными центрами), создаваемыми в каждой экспериментальной лаборатории института. Обработка информации, зарегистрированной на фотопленке, постепенно будет сосредоточиваться при центральном вычислительном комплексе по мере ввода в действие автоматических сканирующих устройств.

Все Лаборатории ОИЯИ представили доклады о своих центрах регистрации, накопления и обработки информации. Основой центра Лаборатории высоких энергий, предназначенного для приема и обработки информации, поступающей от синхротрона, является вычислительная машина БЭСМ-4. На нее непосредственно во время эксперимента подается информация от ионных камер. Централизация регистрации и накопления информации, поступающей от синхротрона Лаборатории ядерных проблем, осуществляется с помощью измерительной системы АИ-4096, которая производит амплитудный, временной и многомерный анализ, а также прием информации от шаровых ионных камер. В этой лаборатории введена в действие также система непосредственной связи группы полуавтоматических приборов для обработки фотоснимков с пузырьковых камер с вычислительной машиной «Минск-22». Такая система позволила возложить на вычислительную машину функции контроля за процессом обмера фотоснимков. Результаты контроля подаются на электроруляемые пишущие машинки, установленные рядом с каждым полуавтоматом. В Лаборатории ядерных реакций для амплитудного и многомерного анализа информации, поступающей от ускорителей многозарядных ионов, используется измерительный комплекс АИ-16000. Дальнейшее развитие получил измерительный центр Лаборатории нейтронной физики, предназначенный для проведения амплитудного, временного и многомерного анализа информации, поступающей от импульсного нейтронного реактора. В центре используются запоминающие устройства на ферритовых сердечниках (в их числе измерительный комплекс АИ-16000) и на многодорожечной магнитной ленте. Разработана и опробована система двухсторонней кабельной связи выходных устройств центра с вычислительной машиной «Минск-22». В Лаборатории проводятся работы по непосредственному использованию вычислительных машин в процессе эксперимента. Разработана методика коррекции амплитудных спектров при помощи вычислительной машины, что позволяет получать лучшее энергетическое разрешение.

Проект типового центра для регистрации, накопления и обработки информации, подготавливаемого для серийного выпуска, был представлен Союзным научно-исследовательским институтом приборостроения. Раз-