

# Системный анализ обращения с радиоактивными отходами

### Обзор принципов принятия решения по низко- и среднеактивным отходам

Уильям Л. Леннеман

Систему обращения с радиоактивными отходами можно рассматривать как определенный барьер для потенциального вредного воздействия на человека и окружающую среду радиоактивных отходов, образующихся у потребителей ядерной энергии. Для квалифицированного и правильного обращения с радиоактивными отходами и их захоронения требуется компетенция в различных областях, таких как инженерное дело, химия, биология, геология, дозиметрия, анализ затрат и риска/выгод, экономическая или финансовая эффективность, оценки возможности реализации и охрана окружающей среды, системный анализ, а также хорошее знание проблем коммуникации, связи с общественностью, понимание политических процессов и социального и политического климата.

Один человек не может быть достаточно компетентен во всех этих областях. Именно поэтому для обращения с радиоактивными отходами требуется участие группы различных специалистов.

В настоящее время экономике, эффективности затрат и анализу риск/выгоды при обращении с радиоактивными отходами общественность уделяет мало внимания. Каждый делает то, что вынужден делать под влиянием политического и социального давления. Во всех странах обращение с радиоактивными отходами и их захоронение осуществляются под государственным надзором и контролем в условиях формализованного регламентирования, при котором часто решения принимаются под давлением социальных соображений, а не в соответствии с техническими требованиями. Тем не менее именно на руководителях систем обращения с отходами лежит ответственность за предоставление принимающим решения лицам из государственного аппарата и органов надзора информации по эффективности затрат и анализу риск/выгоды различных способов и систем.

Выбор способа обращения с радиоактивными отходами или оборудования не следует делать только на основе совета поставщика или только по усмотрению покупателя. Производителю или переработчику радиоактивных отходов следует провести компетентную экспертизу обращения с радиоактивными отходами своими силами или проконсультироваться с компетентными и незаинтересованными независимыми экспертами. В атомной промышленности уже бесполезно потрачены десятки миллионов долларов из-за пренебрежения этим принципом.

Наиболее логичным подходом к оценке процессов обращения с радиоактивными отходами и их вариантов является отношение к обращению с радиоактивными отходами, их обработке и захоронению, как к сложной и полной системе, начиная от образования (или производства) отходов и кончая их захоронением. Данная система может быть разделена на операционные составляющие. То, что происходит в одной составляющей, может накладывать ограничения или смягчать условия для одной или нескольких других составляющих такой системы.

#### Система обращения с радиоактивными отходами

По физическим характеристикам радиоактивные отходы можно классифицировать по следующим пяти общим категориям с точки зрения их обработки и упаковки:\*

- Жидкие, включая жидкие шламы
- Влажные твердые, включая густые шламы
- Сухие твердые
- Сжимаемые
- Газообразные

К газообразным радионуклидам, которые в настоящее время вызывают беспокойство, относятся крип-

Г-н Леннеман в настоящее время сотрудничает с Science Applications International Corporation of McLean, штат Виргиния, США. Ранее он возглавлял Секцию по обращению с отходами МАГАТЭ, в качестве эксперта МАГАТЭ прочитал курс лекций по обращению с радиоактивными отходами в развивающихся странах. Его статья – краткий конспект двухчасовой лекции.

\* В данной статье термин „радиоактивные отходы” охватывает радиоактивные отходы низкой и средней или промежуточной категорий, содержащие незначительные количества долгоживущих трансурановых радионуклидов. В некоторых странах также устанавливаются ограничения по содержанию долгоживущих продуктов деления с активации. Долгоживущими считаются радионуклиды с периодом полураспада более 50 лет.

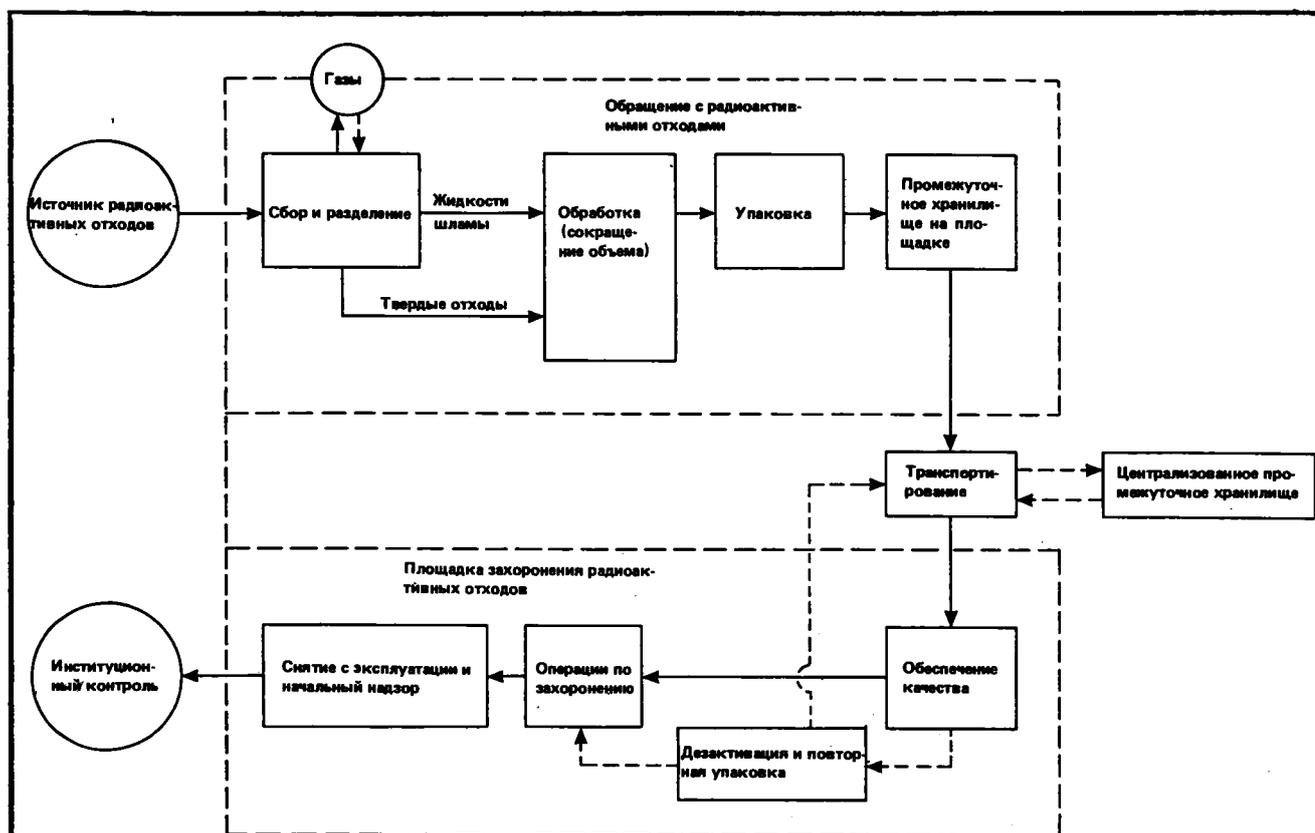
тон-85, углерод-14, водород-3 (тритий) и йод-129. Вообще говоря, эти газообразные радионуклиды, попадая в атмосферу, разбавляются под действием атмосферных процессов. Их извлечение и приемлемое захоронение в газообразной форме спорно. С другой стороны, технически возможно извлечение и преобразование этих газообразных радионуклидов в твердую форму, которая может оказаться более приемлемой формой для захоронения. Поэтому считается, что при более широком подходе к проблеме извлечение и связывание этих радионуклидов становятся необходимыми.

Каждая составляющая системы обращения с радиоактивными отходами имеет два или более варианта, требующих принятия решения по целям и технологии, а также по критериям, помогающим оценить то, что делается в настоящее время и будет делаться в будущем, т.е. решений в отношении вариантов для других составляющих данной системы. Например, выбор площадки и/или места захоронения

может существенным образом влиять на обработку или упаковку радиоактивных отходов, и наоборот.

Составляющие системы обращения с радиоактивными отходами можно назвать для целей обсуждения и иллюстрации „элементами, требующими принятия решения“. В процессе принятия решения относительно обращения с радиоактивными отходами следовало бы рассматривать и учитывать влияние одного варианта решения на все составляющие системы, а не ограничиваться, главным образом, одной составляющей, на которую оказывается непосредственное воздействие, и, возможно, еще одной или двумя другими составляющими (См. схемы).

Достаточно очевидное, но часто упускаемое из виду решение касается ранней стандартизации упаковок радиоактивных отходов. Упаковка радиоактивных отходов состоит из ее содержимого и герметичной оболочки или контейнера. Выгоды стандартизации обработки радиоактивных отходов и форм отходов могут зависеть от местной и/или националь-



Каждая составляющая системы обращения с радиоактивными отходами имеет два или более варианта, требующих принятия решений по целям и технологии, а также по критериям, помогающим оценить то, что делается в настоящее время и будет делаться в будущем. Эти составляющие можно назвать „элементами, требующими принятия решения“. Курсивные линии обозначают альтернативы, которые необходимо принимать во внимание

## Тематическое сообщение

ной ситуации в данный момент времени. С другой стороны, очевидные выгоды можно получить при обращении, транспортировании и захоронении упаковок радиоактивных отходов путем стандартизации размеров, форм и приспособлений контейнеров, облегчающих работу с ними. Наличие нескольких стандартизованных упаковок, в основном зависящих от формы радиоактивных отходов и их радиологической опасности, также облегчает размещение партии одинаковых упаковок в одном более крупном контейнере или каркасе для единообразия работы с ними и их захоронения.

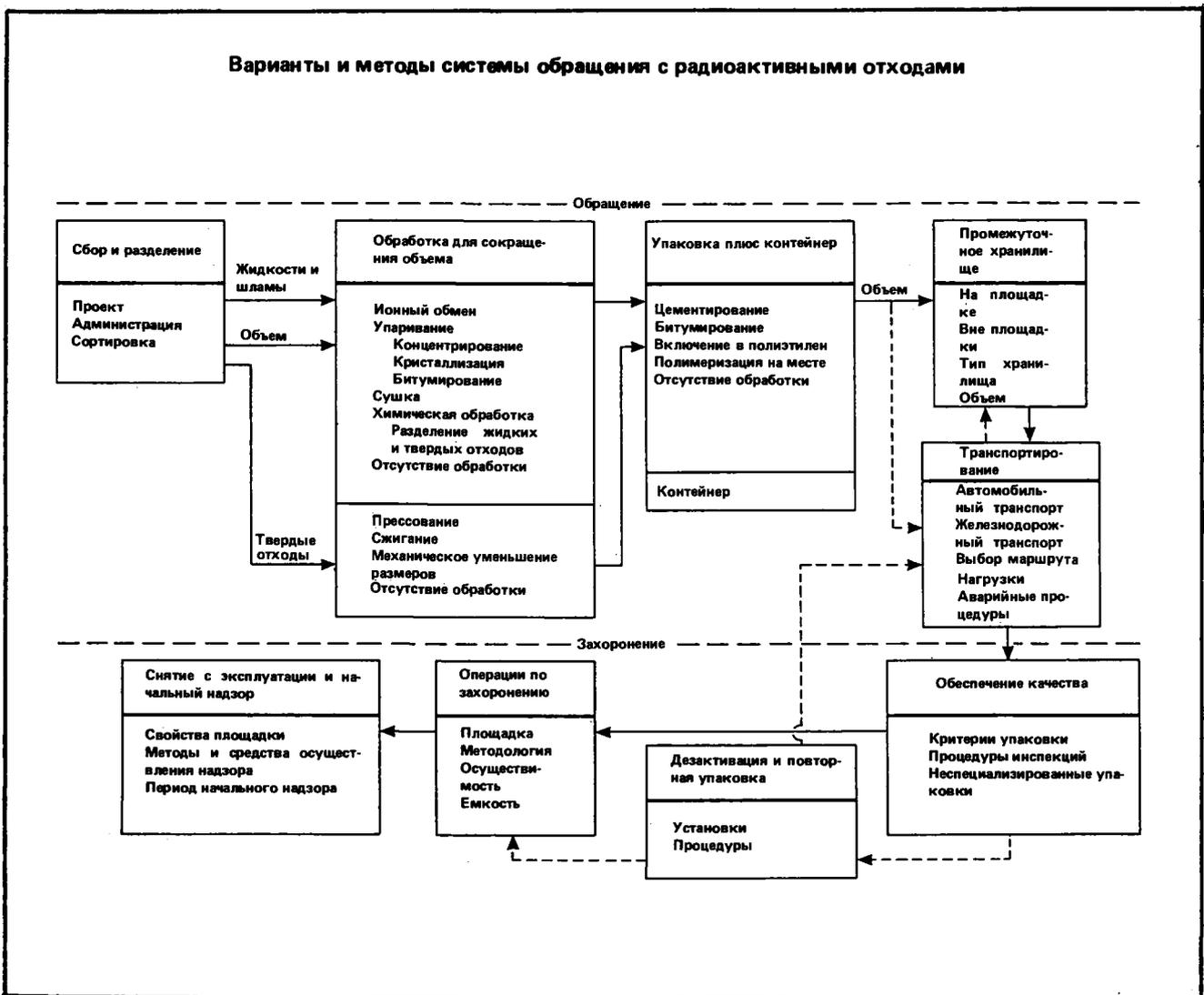
### Варианты обращения с отходами

В настоящее время для различных составляющих или элементов системы обращения с радиоактивными отходами существует ряд вариантов и технологий. Сокращение объема радиоактивных отходов, глав-

ным образом, осуществляется за счет удаления нерадиоактивных компонентов, таких как вода, воздух и горючие органические вещества. Обычно в процессе упаковки производят стабилизацию жидкой или твердой формы отходов в твердой матрице. С другой стороны, если для радионуклидов или твердых форм отходов не характерно быстрое распространение в окружающей среде или радионуклиды по своей природе хорошо удерживаются в самой форме отходов (примером может служить металлическая матрица, в которой зафиксирована наведенная радиоактивность), то упаковка может оказаться ненужной.

В процессе принятия решения делается выбор варианта, технологии или их комбинации для каждой составляющей системы обращения с радиоактивными отходами. После этого следует проверить, в какой степени отдельное решение в рамках системы в целом совместимо с другими составляющими этой системы, включая определение вредных и/или по-

**Варианты и методы системы обращения с радиоактивными отходами**



лезных эффектов каждой корректировки, которая может оказаться необходимой в результате принятого решения.

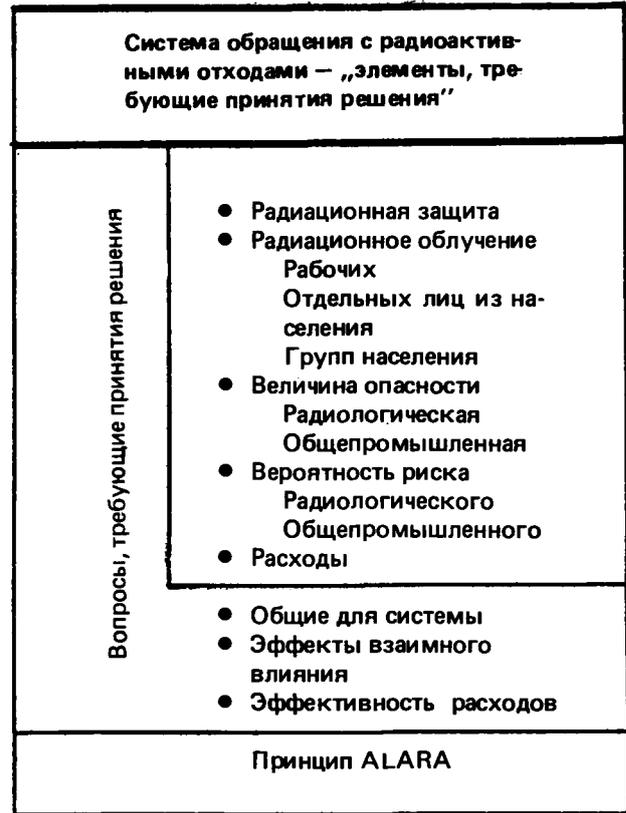
С помощью системного анализа можно оптимизировать объемы пакуемых радиоактивных отходов и работы по обращению с ними с точки зрения расходов и таких вредных эффектов, как риск и радиационное облучение. Простым примером является отделение радиоактивных отходов от нерадиоактивных или разделение радиоактивных отходов на отдельные группы либо для обработки, либо для захоронения, что в некоторых случаях может рассматриваться как способ уменьшения объемов. Следует оценить возможные выгоды такой сортировки и связанный с ней ущерб, в который входит стоимость сортировки и профессиональный риск по облучению от операций по сортировке (См. схемы).

### Оптимизация системы

Основными элементами, которые следует рассматривать или принимать во внимание при принятии решения, касающегося одной или нескольких составляющих системы обращения с радиоактивными отходами, существенным образом связанных с радиационными дозами или ущербом, являются как радиационная, так и промышленная безопасность (опасность и риск), и как капитальные вложения, так и эксплуатационные расходы. (См. прилагаемую таблицу). Оценка ущерба, общей безопасности и расходов, связанных с эксплуатацией системы при одном наборе решений или вариантов, по сравнению с одним или несколькими другими наборами решений, может быть осуществлена путем анализа всех элементов составляющих системы с использованием единого метода оценки или ранжирования каждой корректировки. Таким путем можно прийти к системе обращения с радиоактивными отходами, оптимальной с точки зрения достижения желаемых целей.

При оптимизации системы используется взаимное влияние, т.е. когда улучшение эксплуатации и выигрыш для одной составляющей системы могут быть получены за счет ослабления требований к одной или нескольким другим составляющим. Иными словами, на каком участке системы израсходовать деньги для получения максимально полного выигрыша. Например, средства, расходуемые на уменьшение индивидуального радиационного облучения в системе обращения с радиоактивными отходами, было бы благоразумнее израсходовать в области уменьшения какого-либо элемента риска.

Денежные средства — это некоторые ресурсы как в частном, так и в национальном понимании. Эффективность затрат предполагает принятие решения о том, действительно ли расходы или экономия имеют смысл, или расходование средств в каком-либо другом месте может оказаться более выгодным для отдельных лиц или общества. Например, средства, расходуемые на снижение уровней радиационного облучения групп населения, могли бы более эффек-



тивно быть израсходованы в медицинских исследованиях (например, по проблеме лечения рака) или на уменьшение других видов опасности, оказывающих серьезное воздействие на здоровье групп населения. Считается при этом, что стоимость жизни человека в одной стране одна и та же, независимо от причины ухудшения его здоровья или смерти.

В странах, имеющих экономику с ограниченными финансовыми ресурсами, расходы на охрану здоровья групп населения следует производить там, где это дает наибольшую выгоду, учитывая радиационное облучение, но не ограничиваясь им. Снижение уровней радиационного облучения можно достичь также при расходовании той же суммы средств на другую составляющую системы обращения с радиоактивными отходами или даже в какой-нибудь другой области ядерной энергетической программы. Принцип ALARA\* Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) допускает определенную гибкость при выборе конечных целей относительно радиационного облучения, так как социальные и экономические факторы, учитываемые регулирующими органами, могут меняться от страны к стране и могут зависеть от определенных обстоятельств или ситуаций.

\* ALARA означает „разумно достижимый низкий уровень“ с учетом социальных и экономических факторов.

## Тематическое сообщение

Некоторые соображения, учитываемые при соответствующем системном анализе для двух примеров противопоставляемых методов сокращения объема радиоактивных отходов, иллюстрируются прилагаемой диаграммой. Это следующие примеры:

- Цементирование против битумирования для жидких шламов и концентратов упаривания
- Прессование против сжигания для горючих твердых отходов.

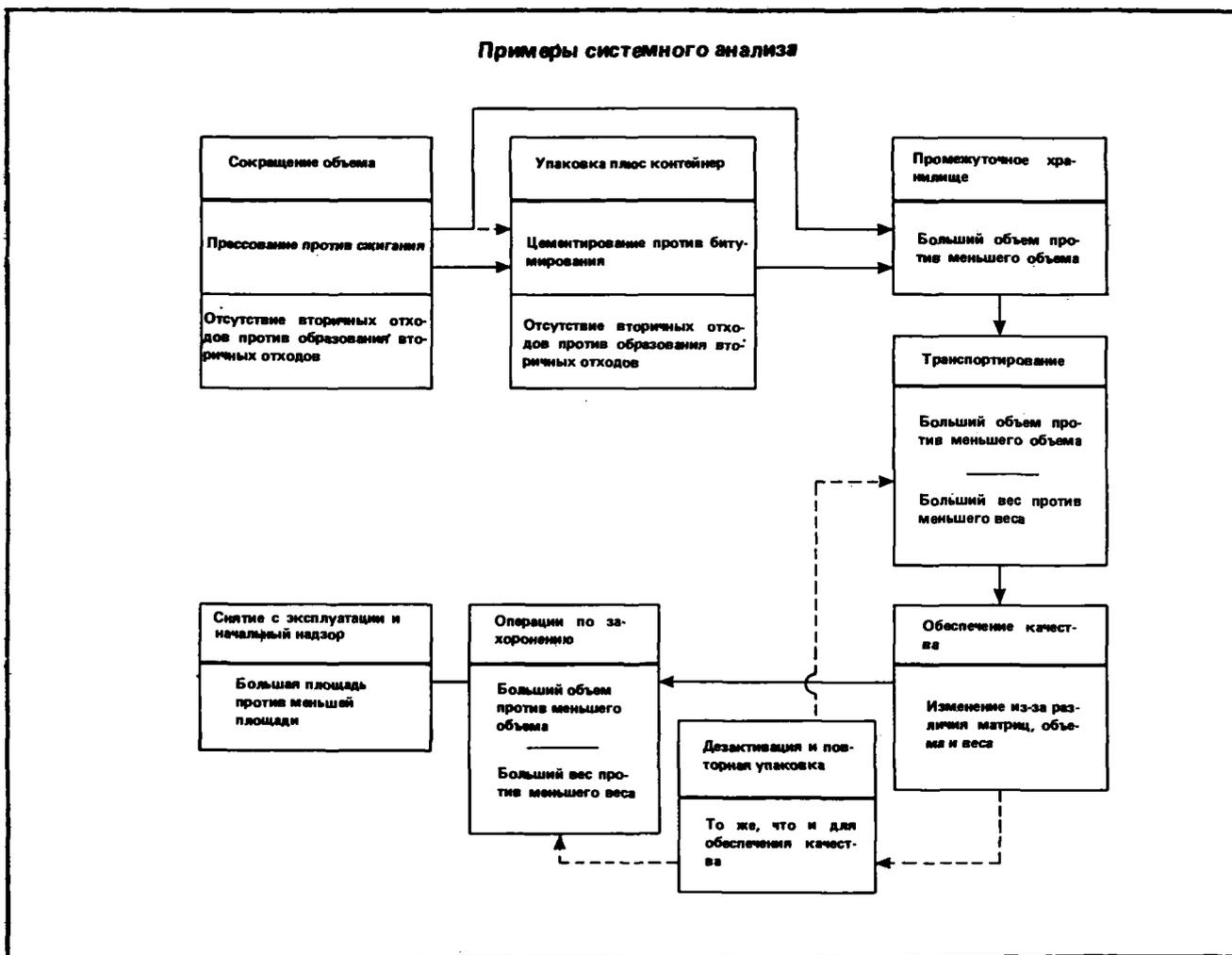
Если спрессованные отходы уже представляют собой упаковку, то образующаяся при сжигании зола достаточно летуча и, по всей вероятности, должна быть иммобилизована с помощью либо цементирования, либо битумирования и упакована. Основными факторами являются сокращение объема и массы и образование вторичных радиоактивных отходов при операциях по уменьшению объема. Эти факторы для целей системного анализа можно выразить через дозы облучения, риск и стоимость.

Некоторые очевидные преимущества и недостатки (плюсы и минусы) битумирования по сравнению с цементированием и сжигания по сравнению с прессо-

ванием, которые следует принимать во внимание при системном анализе, сведены в прилагаемой таблице. Конечно, существуют и другие возможные преимущества и недостатки, однако перечисленных достаточно для краткости иллюстрации. Плюсы и минусы более или менее одинаковы для битумирования и для сжигания, за исключением того, что битум более водостоек, чем бетон.

В таблице также приводятся некоторые эффекты взаимного влияния, которое следует учитывать при стремлении сократить объем захораниваемых отходов. С точки зрения эффективности расходов возникают следующие вопросы:

- Как дополнительные расходы на сокращение объема сказываются на экономии стоимости приемов обращения, транспортирования и захоронения плюс стоимость земли, которая больше не требуется для наземного захоронения упакованных отходов?
- Где бы еще эти дополнительные средства можно было бы использовать с большей пользой в атомной энергетике, например, для обучения персонала или улучшения дорог и других транспортных ус-



## Тематическое сообщение

### Сравнение методов уменьшения объема

*Цементирование против битумирования\*  
Прессование против сжигания\*\**

**Очевидные плюсы**

- Уменьшение объема упаковок отходов
- Снижение потребностей в хранилищах
- Снижение потребностей в транспортировании
- Уменьшение требующихся для захоронения площадей
- Битум более водостоек

**Очевидные минусы**

- Более сложный процесс
- Выше капитальные затраты
- Выше эксплуатационные расходы
- Выше стоимость упаковок отходов для эталонного объема
- Меньшая биологическая защита
- Выше излучение
- Потоки вторичных отходов
- Большой риск пожара

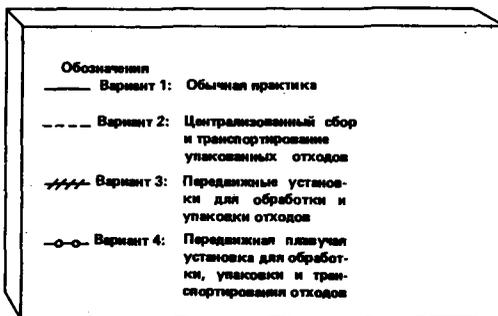
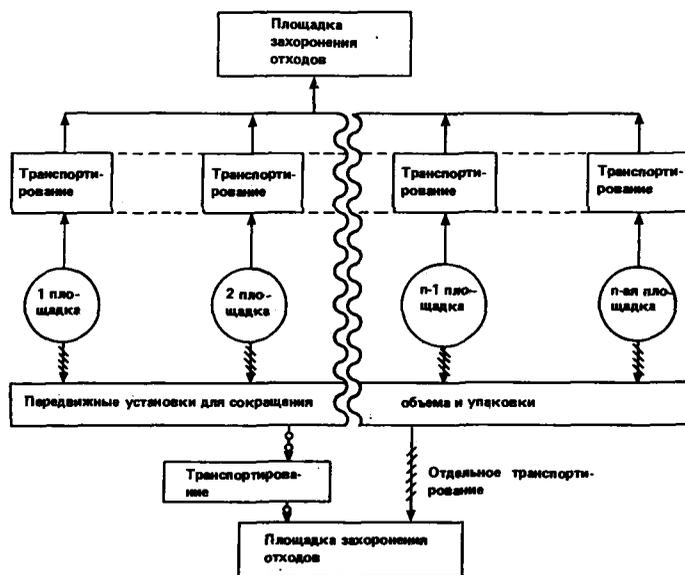
*Некоторые эффекты взаимного влияния*

- Стоимость высвобожденных земель больше дополнительных расходов
- Риск от процессов по сокращению объема против риска от сравниваемых процессов
- Радиационное облучение при процессах по сокращению объема против радиационного облучения при сравниваемых процессах

\* Для жидких шламов и концентратов от упаривания.

\*\* Для горючих твердых отходов.

### Варианты национальной или региональной системы обращения с радиоактивными отходами



роиств для повышения безопасности транспортирования ядерных материалов, включая радиоактивные отходы, или, возможно, с большей национальной пользой (например, в научно-исследовательской деятельности, для сооружения медицинских объектов, мелиорации земель в сельском хозяйстве или для предоставления жилья населению)?

### Варианты систем

Из тех вариантов, которые можно было бы рассматривать для национальной или региональной системы обращения с радиоактивными отходами, обычно выбирается вариант, по которому для каждой отдельной атомной электростанции или другого источника радиоактивных отходов предусматривается и осуществляется транспортирование упакованных радиоактивных отходов на национальные или региональные пункты захоронения, например, наземные площадки захоронения.

Вторым вариантом, который, вероятно, привел бы к меньшим расходам, упрощению организации работ, снижению риска и был бы приемлем для консорциума электроэнергетических компаний (возможно, при получении других лицензий на приобретение ядерного топлива и работу с ним), было бы создание организации на кооперативных началах или с совместным владением для работы с упакованными радиоактивными отходами и транспортирования их к национальным или региональным местам захоронения. Можно создать для оказания таких услуг

правительственное агентство для сбора радиоактивных отходов.

Третий вариант — создание на АЭС промежуточных хранилищ для концентратов от упаривания, ионообменных смол, сжимаемых и горючих радиоактивных отходов и т.д., которые бы периодически обрабатывались и упаковывались на передвижных установках. Такой вариант давал бы экономию за счет предотвращения дублирования на каждой площадке дорогих установок по обработке и упаковке радиоактивных отходов, которые обычно эксплуатируются только периодически, а также за счет исключения обучения, сокращения персонала на каждой площадке и уменьшения неудобств при периодической их эксплуатации. По тем же причинам это также привело бы к исключению дополнительного элемента риска, присущего эксплуатации множества установок (в нашем случае — для обработки и упаковки радиоактивных отходов). Другими словами, это более безопасный вариант. Он был бы особенно привлекателен там, где атомные электростанции расположены на морском побережье или на судоходных водных путях и доступны для крупных плавучих установок по обработке радиоактивных отходов.

Четвертый вариант является развитием третьего, при этом плавучая установка по обработке радиоактивных отходов, располагая временным хранилищем для упакованных радиоактивных отходов, периодически доставляла бы их на доступные для них площадки захоронения. Передвижные сухопутные установки по обработке радиоактивных отходов не пригодны по очевидным причинам для четвертого варианта.

### Укрепление сотрудничества между СССР и МАГАТЭ

Встреча советских официальных представителей с Генеральным директором МАГАТЭ Хансом Бликсом, состоявшаяся в январе 1987 г. в Москве, способствовала дальнейшему укреплению постоянной поддержки Советским Союзом международных мер по повышению ядерной безопасности, предпринимаемых в рамках МАГАТЭ. С 11 по 16 января д-р Бликс и два сопровождавших его в этой поездке высокопоставленных сотрудника МАГАТЭ по приглашению советского правительства посетили Москву, Киев и Чернобыль. Это их второй визит в Советский Союз после аварии 26 апреля 1986 г. на Чернобыльской АЭС.

„В то время ситуация была намного драматичнее. . . Сейчас положение в Чернобыле и прилегающем районе начинает входить в нормальное русло”, — заявил 19 января д-р Бликс на неофициальном брифинге постоянных представителей при МАГАТЭ в Вене. Он отметил, что Советский Союз проделал „огромную и успешную” работу по устранению последствий аварии, причем два из трех расположенных на площадке ядерных энергоблоков, которые физически не пострадали в результате аварии, „вновь пущены на полную мощность”, а поврежденный реактор помещен в герметичный защитный бетонный саркофаг. Он заявил, что в настоящее время население может снова поселиться в 10-километровой зоне, прилегающей к АЭС, и в этом году сняты ограничения на использование земли в сельскохозяйственных целях.

В результате дискуссий, состоявшихся в ходе поездки д-ра Бликса, можно отметить, что:

- Обе стороны пришли к соглашению о том, что в первой половине 1987 г. МАГАТЭ проведет совещание экспертов по



Проф. Константинов, д-р Бликс и д-р Розен на Чернобыльской АЭС.  
(Фото АПН, Москва)

обсуждению методологических аспектов изучения возможных отдаленных последствий облучения населения. По его словам, возможным местом проведения этого совещания являются Вена или Москва.

- Советские официальные лица проявили интерес к программе МАГАТЭ по анализу эксплуатационной безопасности (OSART), в соответствии с которой группы международных консультантов направляются по запросу государств-членов МАГАТЭ на АЭС этих стран, чтобы на месте оценить условия их безопасной эксплуатации. Советские представители особенно подчеркнули „готовность” СССР направлять своих экспертов в группы OSART.

- Советские официальные лица выразили удовлетворение по поводу сотрудничества между

МАГАТЭ и государствами-членами, особенно в отношении двух международных конвенций об оперативном оповещении и оказании помощи в случае ядерных аварий. Кроме того, они подчеркнули „готовность своей страны и в будущем предоставлять МАГАТЭ соответствующую информацию” о чернобыльской аварии, используя для этого различные совещания и публикации.

- Делегация была кратко информирована о мерах, предпринятых для повышения безопасности реакторов типа РБМК. Эти меры охватывают контрольно-измерительные приборы и системы управления АЭС, а также подготовку операторов. Советский представитель подтвердил решение СССР, принятое до чернобыльской аварии, ограничить число энергетических реакторов типа РБМК, работающих в СССР,



Г-н Н.И. Рыжков, Председатель Совета Министров СССР (слева) и д-р Ханс Бликс в Москве.  
(Фото АПН, Москва)

21 энергоблоком, из которых 13 уже находятся в эксплуатации и 8 на различных стадиях строительства. Он добавил, что в дальнейшем на советских АЭС будут устанавливаться хорошо известные реакторы ВВЭР.

Как и во время его первого после чернобыльской аварии визита в СССР, проходившего с

5 по 9 мая 1986 г., в поездке д-ра Бликса сопровождали профессор Леонард Константинов, заместитель Генерального директора по вопросам ядерной энергии и безопасности, и д-р Моррис Розен, директор Отдела безопасности МАГАТЭ. В Министерстве иностранных дел и Государственном комитете по использованию

атомной энергии СССР у них состоялись беседы с Председателем Совета Министров СССР Н.И. Рыжковым, заместителем Председателя Совета Министров Б.Е. Щербиной, министром атомной энергетики Н.Ф. Лукониным, Председателем Совета Министров УССР А.П. Ляшко и другими советскими официальными лицами.

## Предстоящие командировки групп OSART

Как планируется, группы МАГАТЭ по анализу эксплуатационной безопасности (OSART), состоящие из экспертов Агентства в области безопасности ядерных установок, должны посетить АЭС в нескольких странах. С 16 февраля по 6 марта группа OSART находилась на АЭС Крюммель в Федеративной Республике Германии, где установлен реактор с кипящей водой (BWR) мощностью 1260 МВт (эл.); с 16 марта по 3 апреля проходило изучение эксплуата-

ционной безопасности итальянской АЭС Каорсо с реактором BWR мощностью 860 МВт (эл.). До июня 1987 г. запланированы командировки групп OSART на АЭС Додеваард с реактором BWR мощностью 56 МВт (эл.) в Нидерландах (с 27 апреля по 15 мая); на АЭС Пикеринг с реакторами с тяжелой водой под давлением в Канаде (май—июнь). Группы OSART командированы в государства-члены по их просьбе для оказания помощи в оценке операций по эксплуатации

станций и проведения консультаций с операторами по вопросам повышения безопасности АЭС.

В январе 1987 г. группа OSART МАГАТЭ завершила предварительный анализ эксплуатационной безопасности реактора с водой под давлением мощностью 654 МВт (эл.) на АЭС Лагуна Верде в Мексике, пуск в коммерческую эксплуатацию которого намечен на конец этого года. Как и было запланировано, работа группы проходила с 12 по 30 января 1987 г.