

Технология по кондиционированию жидких радиоактивных отходов как важнейшее условие ядерной безопасности

Щеткин Б.Н.
Shchyotkin B.N.

В настоящее время человечество интересуют насущные проблемы сохранения собственной среды обитания и собственного здоровья. Изначально рассматривая живую природу и человеческое общество как две разные системы, мы все больше осознаем, что обособление человеческой экономики от экономики природы недопустимо. Пытаясь сохранить существующий уровень цивилизации, а в лучшем случае – и повысить его, следует признавать, что прогресс цивилизации ограничивается экологическим императивом. Под экологическим императивом понимается безусловная зависимость человека от состояния живой природы, требование подчинения ее законам. В противоположность антропоцентризму биоцентризм (экоцентризм) исходит из представления об объективном существовании единой системы, в которой все живые организмы нашей планеты, включая человека, взаимодействуют между собой и с окружающей природной средой.

Сегодня экология все чаще квалифицируется как система научных знаний о взаимоотношениях общества и природы. Совокупность всех проблем, в той или иной мере решаемых экологией, можно условно разделить на следующие группы: биологические, прикладные, социально-экономические, философские и нравственные. Кроме указанных, существует ряд специфических проблем, решаемых отдельными научными направлениями, в т.ч. инженерной экологией. Биологические проблемы связаны с изучением основных законов взаимодействия компонентов живой и неживой природы. Прикладные проблемы возникают при оценке антропогенного воздействия на окружающую среду и разработке методов ее защиты. Социально-экономические проблемы многочисленны и имеют тенденцию к нарастанию. Экономика и политика все теснее интегрируются с экологией, не взирая на их антагонизм. Беспокоит истощение природных ресурсов, чрезмерный рост антропогенной нагрузки на природную среду, демографические проблемы, рост затрат на обеспечение существования человечества, ухудшение здоровья населения и т.п. Философия и экология близки друг к другу, т.к. они одинаково призваны познать законы природы. Основной вопрос философии о смысле жизни в той же мере актуален для экологии, так как от его решения зависит выработка отношения человека к окружающей среде. Не менее актуален и комплекс нравственных проблем, так как налицо нарушение баланса между духовными и интеллектуальными ценностями с одной стороны и частнособственническими, потребительскими интересами

с другой. Требуется формирование представлений о необходимости гармонического единства человека с природой, о ее особой ценности и истинной красоте.

Вкратце анализируя современное состояние экологической науки, следует отметить, – экология относится к числу наиболее развивающихся в настоящее время наук. Во всем мире экологические исследования считаются государственно-важными и финансируются, в первоочередном порядке, наряду с ВПК и космическими исследованиями. Поддержку экологическим исследованиям оказывают, наряду с государственными органами, различные международные организации, в первую очередь системы ООН. Создаются новые научные направления, научные учреждения и коллективы, развивается международное сотрудничество. Многочисленные экологические программы охватывают огромный спектр проблем, жизненно важных для человечества.

Что же касается нашей страны, то здесь наблюдается спад интенсивности экологических исследований и разработок, явившийся следствием снижения финансирования науки в целом. По ряду позиций произошли невосполнимые и необратимые сдвиги. В первую очередь это касается фундаментальных исследований. Общеизвестный допустимый минимум затрат на научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу (НИОКР) в валовом внутреннем продукте составляет 1,5-2,0 %. В России, по имеющимся данным, в 1995 г. данный минимум затрат составлял – 0,41 %; в 2004 г. – 1,35%. В январе 2003 года аналитики Счетной палаты в сводном аналитическом докладе "Основные проблемы и условия эффективного воспроизводства отечественного научного потенциала" указали, что по уровню применения новейших технологий в экономике Россия отстает от промышленно развитых стран на 45-50 лет. Кроме того «недостаточное финансирование науки, отсутствие необходимого оборудования привело к прекращению исследований по ряду научных направлений, в которых Россия занимала ведущие позиции в мире». По доле затрат на НИОКР наша страна «отстает от развитых стран более чем в 2 раза», так как «в Японии на эти цели выделяется 3%, в США – 2,6%, в России – 1,2% ВВП». По величине этих затрат на душу населения Россия отстает от западных стран в 6-12 раз (в США – \$892, в России – \$70). В связи с уменьшением возможностей снизился интерес к научно-исследовательской работе у оставшихся ученых, так как многие крупные и перспективные специалисты уехали за рубеж или перешли в другие структуры. Министерством образования и науки РФ предложено увеличить объем затрат на НИОКР к 2010 году до 2% ВВП. Думается, что и развитые страны не будут стоять на месте.

Подавляющее большинство современных исследователей считает, что экология – это наука, изучающая условия существования живых организмов и взаимосвязи между организмами и средой, в которой они обитают, так как экология (греч. oikos – дом и logos – наука) в буквальном смысле – наука о местообитании. Значение экологии за последние десять лет чрезвычайно возросло, это объясняется тем, что ни один из вопросов огромной практической важности, в настоящее время, нельзя решить без учета связей между живыми и неживыми компонентами природы. Следует остановиться на взаимоотношении экологии и охраны природы. Западные ученые обычно различают науку экологию и науки об окружающей среде. Экология изучает три группы факторов среды, воздействующих на организмы: абиотические; биотические и антропогенные.

Современные технологии дают человеку все новые возможности, и делают его жизнь интереснее, комфортнее. Но они же и многократно увеличивают риск техногенных аварий и катастроф с экологическими последствиями.

Как известно, почти каждый производственный цикл заканчивается образованием и удалением отходов. Радиоактивные отходы (РАО) являются также непременным завершающим звеном любой ядерной и радиационной технологии. В состав радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) входят радионуклиды, сохраняющие активность на десятилетия, а иногда на столетия, что создает потенциальную угрозу для жизни и здоровья людей и отрицательно влияет на биосферу. А некоторые радионуклиды являются опасными в течение срока, соизмеримого с историей человечества, поэтому необходимо гарантировать абсолютную их изоляцию от биосферы. Ни на одной атомной электростанции нет полного комплекта установок для кондиционирования РАО.

После производства упаривания жидких РАО полученный концентрат хранится в металлических емкостях, в некоторых случаях предварительно отверждается методом битумирования. Твердые РАО помещаются в специальные хранилища без предварительной подготовки. Только на трех АЭС имеются установки прессования и на двух станциях – установки сжигания твердых РАО. Этих технических средств явно недостаточно с позиций современного подхода к обеспечению радиационной и экологической безопасности. Очень серьезные трудности возникли в связи с тем, что хранилища твердых и отвержденных отходов на многих российских АЭС переполнены. На большинстве АЭС нет полного комплекта технических средств, необходимых с позиций современного подхода к обеспечению радиационной и экологической безопасности. Отработавшее ядерное топливо, извлеченное из ядерного реактора – самый высокоактивный радиационный материал во всей последовательности технологических

операций от добычи урановой руды до получения атомной энергии. И одна из ключевых проблем в обеспечении безопасности атомной энергетики – решение вопроса о дальнейшей судьбе этого самого опасного радиационного материала.

Защита всего живого на Земле от недопустимого радиационного излучения – главная цель организации сбора, кондиционирования и удаления РАО.

При эксплуатации АЭС одной из главных задач является значительное уменьшение объемов (концентрирование) радиоактивных отходов (рис. 1), а также перевод их в форму, удобную для надёжного длительного хранения (500-1000лет).

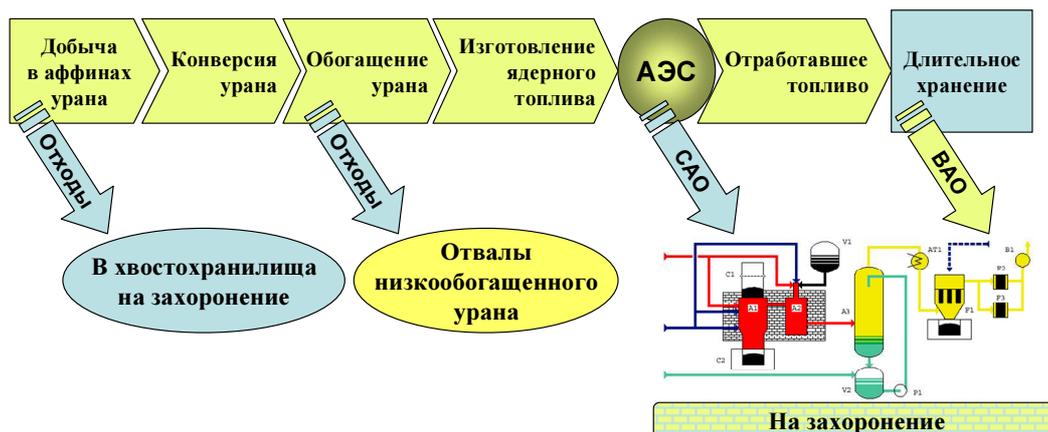


Рис.1. Принципиальная схема открытого топливного цикла атомной энергетики

Для этого РАО концентрируют путём выпаривания, сушки и включают в различные связующие (цемент, термопластичные органические связующие, стекло). Радиоактивные отходы в твердой форме занимают меньший объём и их значительно проще, дешевле и безопаснее хранить.

Жидкие и твердые РАО подразделяются по удельной радиоактивности на три категории (табл. 1). В случае, когда по приведенным характеристикам радионуклидов таблицы 1 отходы относятся к разным категориям, для них устанавливается наиболее высокое значение категории отходов.

Таблица 1

Классификация жидких и твердых радиоактивных отходов по удельной радиоактивности

Категория отходов	Удельная активность, кБк/кг		
	бета - излучающие радионуклиды	альфа - излучающие радионуклиды	трансурановые радионуклиды (исключая трансурановые)
Низкоактивные	менее 1Е3	менее 1Е2	менее 1Е1
Среднеактивные	от 1Е3 до 1Е7	от 1Е2 до 1Е6	от 1Е1 до 1Е5
Высокоактивные	более 1Е7	более 1Е6	более 1Е5

Санитарными правилами СП 2.6.6.1168-02 "Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002), утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 16 октября 2002 года (введены в действие с 1 января 2003 года) установлены требования к переработке и кондиционированию радиоактивных отходов.

Низкоактивные и низкосолевые жидкие РАО должны перерабатываться с использованием комбинации методов соосаждения, фильтрации, ионного обмена, сорбции и др., конечной целью которых является получение воды, пригодной для повторного использования или сброса в открытую гидросеть, и концентрата (в виде регенератов, шламов, пульп), подлежащего дальнейшей переработке.

Среднеактивные и высокосолевые жидкие РАО должны перерабатываться упаркой с получением конденсата, направляемого в схему очистки низкоактивных и низкосолевых жидких РАО, и концентрата солей, направляемого на отверждение.

Выбор метода отверждения жидких РАО определяется их радионуклидным и химическим составом, уровнем радиоактивности и количеством отходов, типом упаковки и схемой последующего обращения с РАО. Данный метод обосновывается экономическими показателями и оценкой безопасности для всех стадий обращения, включая хранение, транспортирование и захоронение.

Высокоактивные жидкие РАО рекомендуется перерабатывать упаркой с получением конденсата, направляемого в схему очистки среднеактивных жидких РАО, и концентрата солей, направляемого на отверждение.

Сортировка первичных жидких и твердых РАО направлена на разделение отходов по различным категориям и группам для переработки по принятым технологиям и для подготовки к последующему хранению и захоронению.

Кондиционирование РАО осуществляется для повышения безопасности обращения с ними за счет уменьшения их объема и перевода в форму, удобную для транспортировки, хранения и захоронения.

Хранение РАО осуществляется отдельно для отходов разных категорий и групп в сооружении, обеспечивающем безопасную изоляцию отходов в течение всего срока хранения и возможность последующего их извлечения.

Транспортирование РАО предусматривает их безопасное перемещение между местами их образования, переработки, хранения и захоронения с использованием специальных грузоподъемных и транспортных средств.

Захоронение РАО направлено на их безопасную изоляцию от человека и окружающей его среды.

Методы переработки жидких РАО включают следующие технологические операции:

- концентрирование радионуклидов методом упарки, ионного обмена, сорбции и др.;
- отверждение концентратов методом упарки до солей, битумирования, цементирования, включения в полимеры, стекло, керамику, стеклометаллические композиции, синтетические горные породы и др.;
- частичный возврат очищенных до санитарных норм воды, веществ и материалов, образующихся при переработке жидких РАО, для повторного использования в производстве.

В некоторых случаях на подготовительной стадии целесообразно проводить фракционирование отходов, т.е. выделение одной или нескольких групп радионуклидов с целью последующей отдельной переработки.

Проектирование и строительство оборудования и сооружений для обработки, кондиционирования, транспортировки, хранения и захоронения РАО определяется двумя главными свойствами отходов:

- уровнями радиации, которые определяют степень экранирования, необходимую для защиты людей от прямой радиации;
- периодом полураспада изотопных компонентов РАО, который определяет время, гарантирующее надежность изоляции отходов.

Таким образом, продукты кондиционирования РАО должны обеспечить необходимую безопасность (механическая прочность, низкая растворимость и хорошие характеристики при долговременном хранении).

Общепризнанно, что наилучший способ переработки жидких РАО – отверждение с последующим складированием их для хранения. В настоящее время широкое распространение в мире получили три способа отверждения жидких РАО: цементирование, битумирование, и остекловывание. Однако они не решают проблему экологической эффективности изолирования окружающей среды от воздействия на нее радиоактивных отходов, в силу присущих каждому из способов недостатков:

- цементирование – высокая скорость выщелачивания радионуклидов (10^{-3} г/(см²*сут)), возможность образования водорода при хранении;
- битумирование – высокая скорость выщелачивания (10^{-4} г/(см²*сут)), низкая радиационная стойкость (распухание продукта, возможность образования водорода), низкая биоустойчивость, высокая пожароопасность битумных компаудов;

- остекловывание – большие технологические трудности по обеспечению приемлемого рабочего ресурса оборудования, дистанционного управления процессом, при хранении возможен радиолиз, сопровождающийся растрескиванием образцов, а так же образованием и выходом радиоактивных газов, является самой дорогой технологией.

Общими их недостатками являются: невысокая степень заполнения, трудность отверждения кристаллогидратных форм солей РАО, узкая область применения и экономические сложности при переработке больших объемов РАО.

В этой связи встает настоятельная необходимость разработки более дешевого и экологически надежного метода кондиционирования РАО. Очевидно, что решение этой проблемы лежит в плоскости разрешения объективно существующих противоречий между коэффициентом заполнения РАО в отвержденном продукте, стоимостью переработки с одной стороны и экологической эффективностью – с другой. В первом случае, при увеличении коэффициента заполнения можно говорить (в пределах разумных допущений) о сокращении удельных затрат по кондиционированию и захоронению РАО в связи с уменьшением общего объема отвержденной массы. При этом следует ожидать ухудшения экологических параметров конечных продуктов кондиционирования РАО, компенсация которых повлечет за собой использование определенных организационно-технических и экономических усилий.

Очевидно, что снять данные противоречия при использовании традиционных технологий кондиционирования жидких РАО не имеет перспективы. Поэтому необходимо рассматривать данную проблему с позиции пространственного разделения свойств отвержденных продуктов РАО, несущих ответственность за конкретные качественные характеристики.

Предлагаемое изобретение относится к области атомной энергетики, а именно, к способам обработки жидких радиоактивных отходов (ЖРО), преимущественно низкого и среднего уровней активности, которые образуются на атомных электростанциях (АЭС) и предприятиях, связанных с переработкой делящихся материалов.

Цель предполагаемого изобретения – снижение скорости выщелачивания радионуклидов из компаунда.

Эта цель может быть достигнута путем использования одного или большего числа ограждающих барьеров для изолирования отходов. Барьеры выполняют две роли: они ограждают людей от радиации, излучаемой отходами, и предотвращают или затрудняют перемещение отходов в окружающую среду, исключают возможность облучения людей в недопустимых дозах. Барьеры могут быть искусственными или естественными.

Существует широкое международное единство мнений о том, что наилучшим путем достижения этой цели является захоронение РАО с использованием комбинаций искусственных и естественных барьеров, таким путем, который не потребует дальнейших действий для обеспечения безопасности.

На рис. 2 представлена структурная модель блока отвержденных (кондиционированных) отходов с учетом пространственной дифференциации его свойств.

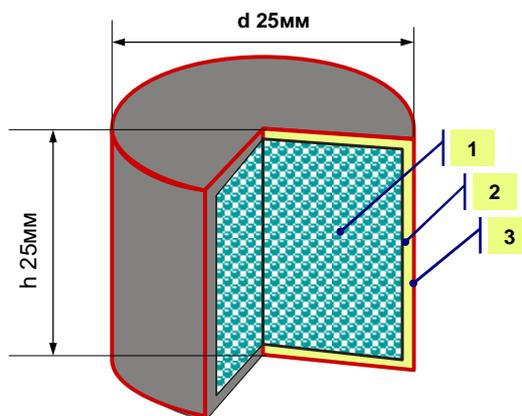


Рис.2. Пространственная модель конечного продукта кондиционирования жидких радиоактивных отходов:

1 – солеплав-блок с ярковыраженными прочностными характеристиками; 2 – контейнер; 3 – гидрофобизирующий слой (ГФС)

Для этого необходимо было решить следующие частные задачи:

1. Определить, возможно ли технически осуществить включение РАО с максимальным их содержанием в конечный продукт. Какова эта величина. Существуют ли ограничения, в том числе и по разнообразию химического свойства РАО.
2. Возможно ли создание искусственных барьеров надежно защищающих окружающую природу (человека) от потенциальной миграции радионуклидов из образцов, в случае, если задача 1 будет решена для высоко растворимых солей с максимальным (до 100%) их содержанием.
3. Определить технические условия получения конечных отвержденных продуктов, их характеристики.
4. Произвести оценку целесообразности применимости способа с точки зрения экологической и экономической эффективности для упрощенного варианта складирования (захоронения) конечных продуктов кондиционирования РАО.

Кондиционирование и захоронение РАО во временном масштабе распространяется за пределы одного и более поколений людей, поэтому прошлый опыт и испытания по определению характеристик имеют лишь ограниченную среду применения. Последствия

такой деятельности могут быть оценены только с помощью комбинации экспериментов, которые проводятся в достаточно короткое время, обычно в течение месяцев или лет, и прогнозы того, что может произойти в будущем, основываются на детальном понимании всех составляющих процессов. Эти эксперименты могут быть дополнены исследованиями естественных аналогов, которые имеют соответствующие расширенные временные масштабы. Последовательность процедур, связанных с изготовлением образцов кондиционируемых РАО и их тестированием представлена на рис.3

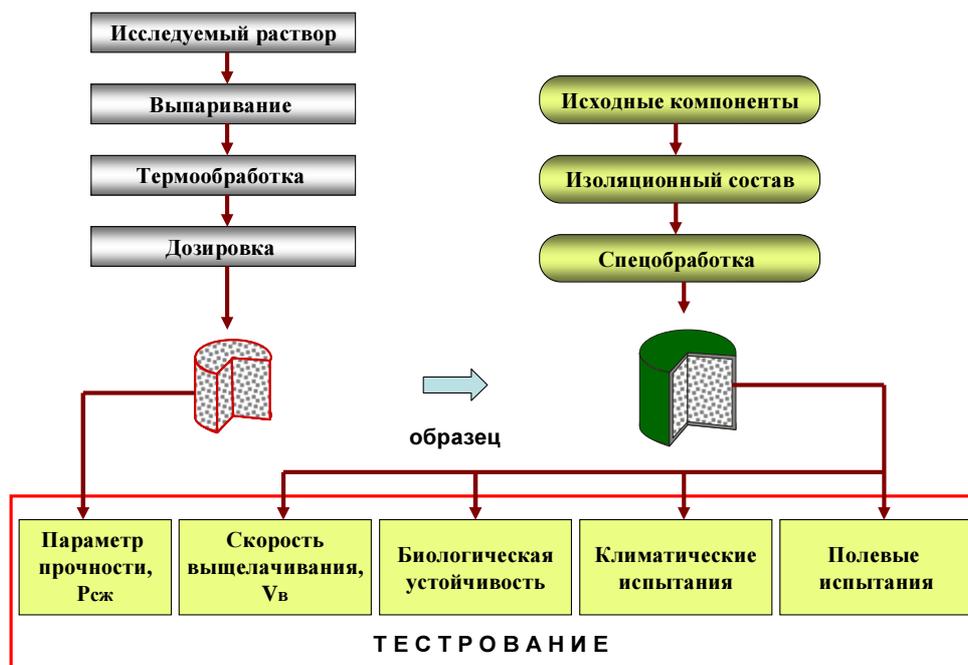
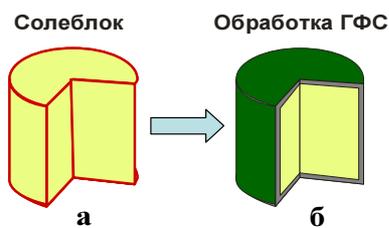


Рис.3. Схема проведения эксперимента.

Очевидно, что при максимально возможном содержании РАО в прочном объеме отвержденного продукта, и в особенности, для легкорастворимых компонентов, решающее значение будет иметь качество изоляционного материала (ГФС). Это существенно снижает ареал поиска технических решений для выполнения задачи 1. Поэтому, уже готовым техническим решением может быть известная технология получения солеплава радионуклидов обратившая на себя в последнее время многих исследователей в мире занимающихся проблемой кондиционирования РАО. Суть ее заключается в глубоком упаривании жидких РАО с последующей низкотемпературной термообработкой. Для стабилизации солеплавов к действию атмосферной влаги по отношению к кристаллогидратным соединениям применялся в микро количествах ингибитор плавления. Техническое оформление образцов-солеблочков (по вариантам) показано на рис.4.

Вариант 1.



а – солеблок

б – солеблок, обработанный гидрофобизирующим составом (ГФС).

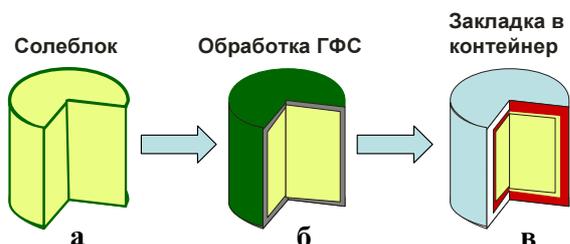
$$\delta_{\text{гфс}}=3\div 4 \text{ мм}$$

$$V_{\text{в}}=10^{-8}\div 10^{-9} \text{ г}/(\text{см}^2*\text{сут})$$

$$K_3=0,95\div 0,96$$

$$Y_3=1$$

Вариант 2.



в – солеблок, обработанный ГФС, помещенный в контейнер.

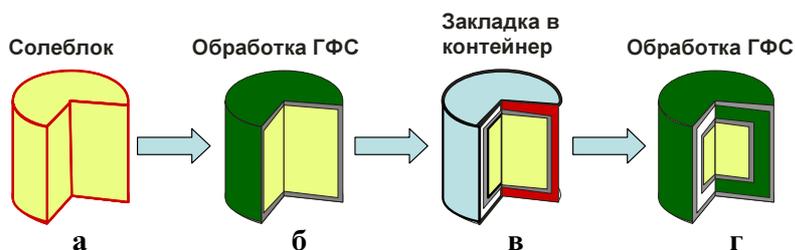
$$\delta_{\text{к}}=1\div 2 \text{ см}$$

$$V_{\text{в}}=10^{-8}\div 10^{-10} \text{ г}/(\text{см}^2*\text{сут})$$

$$K_3=0,76\div 0,85$$

$$Y_3=1,4$$

Вариант 3.



г – снаряженный контейнер, обработанный ГФС.

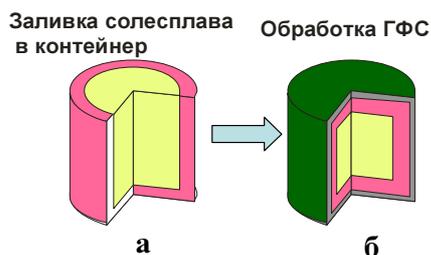
$$\delta_{\text{гфс}}=1\div 2 \text{ мм}$$

$$V_{\text{в}}<10^{-10} \text{ г}/(\text{см}^2*\text{сут})$$

$$K_3=0,74\div 0,85$$

$$Y_3=1,5$$

Вариант 4.



д – залитый в контейнер солесплав РАО. $\delta_{\text{к}}=1\div 2 \text{ см}$

е – снаряженный контейнер обработанный ГФС. $\delta_{\text{ГФС}}=1\div 2$ мм
 $V_{\text{в}} < 10^{-10}$ Г/(см²*сут)
 $K_3=0,78\div 0,88$
 $Y_3=0,9$

Рис. 4. Варианты применения «новой» технологии для кондиционирования жидких радиоактивных отходов (РАО)

Примечание:

- Размер блоков: высота и диаметр – 25 мм.
- Y_3 – удельные затраты.
- K_3 – коэффициент заполнения.
- $V_{\text{в}}$ – скорость выщелачивания.

Вариант 1-3 предусматривает упрощенную процедуру изготовления солейблоков РАО в охлаждаемых изложницах из специального материала. Вариант 4 предполагает заливку солейблоков РАО после термообработки в псевдокерамический контейнер (ПК). Использование ПК существенно упрощает технологическую схему кондиционирования РАО и делает ее во всех отношениях предпочтительней. ПК представляет собой отформованный материал в состав, которого входит песок определенного гранулометрического состава, натриевое жидкое стекло и вода. Для обеспечения определенных кондиций ПК жестко фиксировались следующие параметры: состав смеси, влажность, давление прессования, толщина стенки ПК, термокинетические условия полимеризации.

Решение задачи 2, является ключевой в достижении поставленной цели. В основе ее лежат природные аналоги, скорректированные по химическому составу и способу синтеза гидрофобизирующего состава (ГФС).

ГФС – это гетерогенная система с четко выраженной фазовой дифференциацией при определенных термодимических условиях.

Обработка ГФС солейблоков РАО предполагается для вариантов 1-3 – однократная, для варианта 4 – двухкратная. Технически, это возможно производить в одном (специальной конструкции) аппарате.

В снаряженном горячим расплавом солей РАО ПК происходит интенсивная структуризация самого ПК с выделением через образующиеся каналы перегретого водяного пара. Таким образом ПК будет представлять собой твердопористую структуру с калиброванными размерами пор. Первая стадия нанесения ГФС на снаряженный ПК

заключается в эжектировании через поры жидкофазной части ГФС в аппарате при определенных условиях гравитационного расслоения.

Вторая стадия обработки снаряженного ПК заключается в тампонировании пор твердофазной составляющей ГФС в этом же аппарате путем механической дестабилизации последнего.

На рис. 5 представлены экспериментальные данные значений скорости выщелачивания катионов Na^+ из кондиционируемых РАО.

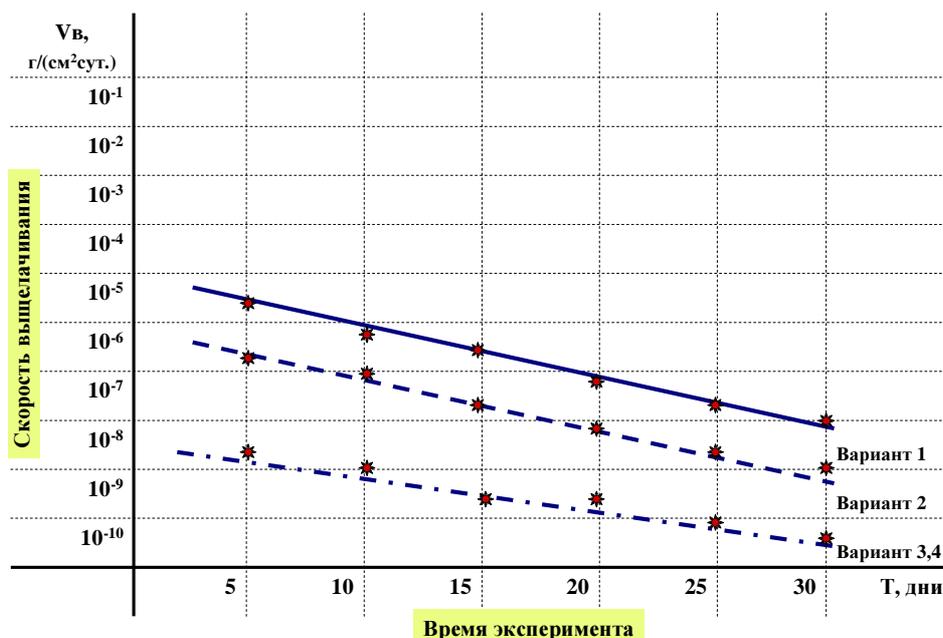


Рис. 5. Зависимость скорости выщелачивания катиона Na^+ (V_v) от продолжительности эксперимента для различных вариантов компоновки отвержденных продуктов РАО

Задачи 3 и 4 являются стандартными для решения проблем подобного рода.

Из отчета Европейского Сообщества EUR 12871 EIV (1990), следует, что расходы по организации сбора кондиционирования и удаления отходов, выражаемые в удельной стоимости на один кубический метр отходов, зависят от многих факторов. К ним можно отнести тип отходов, точную схему сбора, кондиционирования и удаления, определяемые различными национальными стратегиями, а так же конструкции, геологические условия и общие размеры склада захоронения.

Расходы, связанные с переработкой (кондиционированием) по «новой» технологии, обеспечивающей качественно лучшие экологические параметры отвержденных продуктов, гарантирующие безусловную надежность даже при упрощенном способе захоронения в 7,3 раза – для низкоактивных, и в 90 раз для среднеактивных отходов, дешевле, чем при реализации традиционных способов обращения с РАО. Здесь принимается в расчет допущения равенства в стоимости переработки по «новой» технологии и битумированию (1000 ЭКЮ за кубический метр РАО).

Экспериментальные данные были получены с помощью лабораторной установки рис.6.

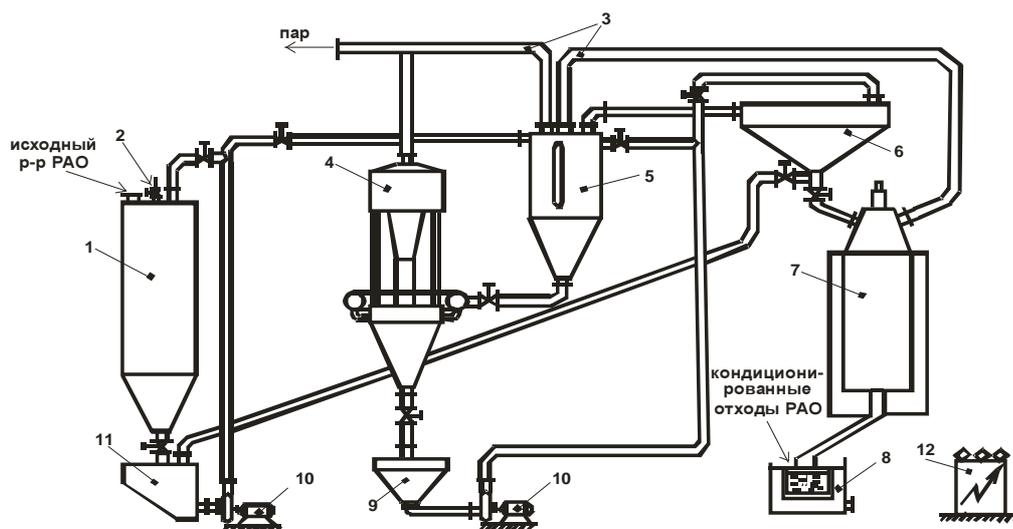


Рис. 6. Схема цепи аппаратов лабораторной установки по кондиционированию жидких РАО.

1 – бак исходного раствора РАО; 2 – воздушный спускник; 3 – паровой коллектор; 4 – выпарной моноблок электрический ВМЭ 40; 5 – напорный бак; 6 – отстойник; 7 – печь электрическая; 8 – аппарат обработки РАО; 9 – переходная емкость; 10 – электронасос; 11 – зумпф; 12 – электрораспределительный щит и пульт управления.

В ходе проведения исследовательских работ по разработке «новой» технологии кондиционирования жидких РАО низкой и средней активности, были использованы 85 различных по химическому составу имитирующих составов РАО. Было изготовлено более 5 тысяч образцов.

Выводы.

1. Скорость выщелачивания по сумме катионов металлов для различных составов отвержденных продуктов РАО при разных режимах тестирования (с использованием соответствующих методик) соответствовал значениям 10^{-8} - 10^{-10} г/(см²сут).
2. Коэффициент заполнения конечного отвержденного продукта имитаторами радиоактивных солей составляет 0,8-0,9, для ионообменных смол соответствующий показатель может достигать значения 0,6 - 0,7.
3. Значение параметра прочности образцов на сжатие составляет величину 26,4 – 80,4 Мпа.
4. Проведена технико-экономическая оценка «нового» способа кондиционирования РАО. С учетом ряда допущений, его экономическая эффективность от 7,3 до 90 раз выше, чем при переработке РАО по традиционным технологиям.
5. Разработана техническая документация установки по кондиционированию жидких РАО по «новой» технологии (рис.7).

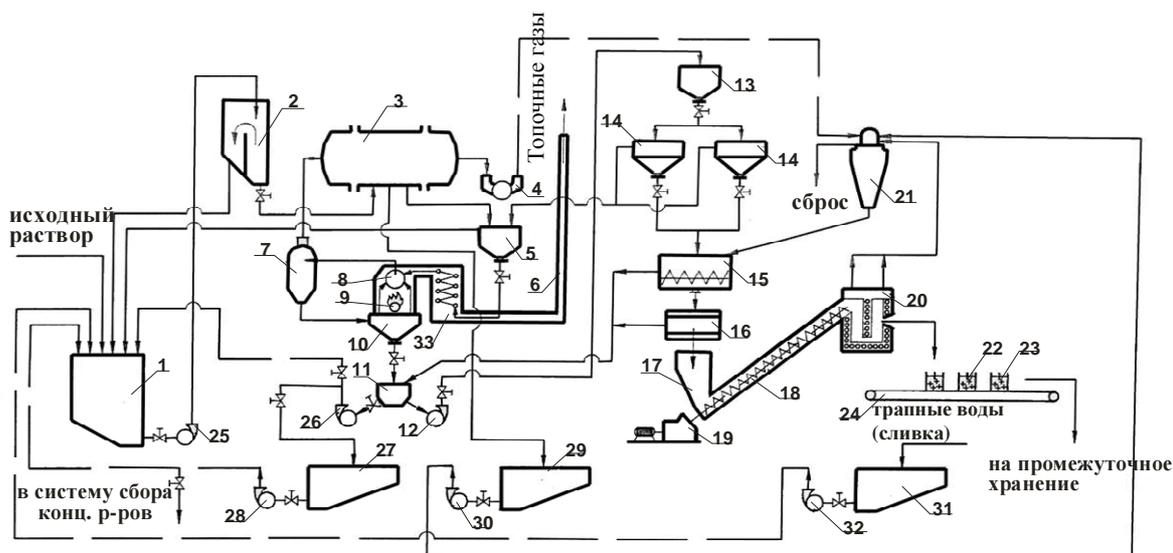


Рис. 7. Технологическая схема установки концентрирования-отверждения жидких радиоактивных отходов (РАО) $Q=35$ л/ч.

1 – сборный бак исходного раствора РАО ($V=3,5$ м³); 2 – напорный бак исходного раствора РАО ($V=1,5$ м³); 3 – трубчатый подогреватель; 4 – вакуум-насос; 5 – промежуточная емкость ($V=1$ м³); 6 – дымовая труба; 7 – выносной испаритель; 8 – сепарационный барабан; 9 – топка ($P=21$ кВт); 10 – внутриконтурный отстойник; 11 – ЗУМПФ ($V=0,4$ м³); 12, 25, 26, 28, 30, 32 – насосы; 13 – промежуточная емкость питания отстойника ($V=1$ м³); 14 – отстойник ($F=1,5$ м²); 15 – лопастная мешалка ($V=1,2$ м³); 16 – центрифуга (Н-220, длина 0,95 м, высота 1,65 м, $Q=1,2$ м³/ч; Н-300, ширина 0,7 м, $P=700$ кг, $P_n=7,5$ кВт); 17 – бункер сбора осадка ($V=0,5$ м³); 18 – шнековый питатель; 19 – привод шнекового питателя; 20 – электропечь ($V=100$ л, $t=360^{\circ}\text{C}$); 21 – фильтр барботер; 22 – солеплав; 23 – форма; 24 – конвейер; 27 – емкость термостат для концентрированных РАО ($V=2$ м³); 29 – емкость для сбора конденсата ($V=2,0$ м³); 31 – емкость для сбора трапных вод ($V=2,0$ м³); 33 – экономайзер.

Рост промышленного производства в России может обострить экологическую обстановку, а также увеличить вероятность возникновения техногенных аварий с негативными экологическими последствиями. Учитывая, что программа развития радиохимической переработки ОЯТ в России отложена на неопределённое время, крупномасштабное долгосрочное хранение становится главной проблемой обращения с ОЯТ в период до 2010 года. Одной из главных причин «отложенной» переработки ОЯТ является необходимость значительных инвестиционных расходов. Постоянное откладывание решения о формировании инвестиционных фондов для решения проблемы обращения с ОЯТ за счет отчислений от себестоимости электроэнергии (как это принято во всем мире) привело к тому, что за оставшийся срок эксплуатации действующих блоков АЭС невозможно накопить достаточную сумму средств для полного решения проблемы ОЯТ.

В настоящее время реально можно рассчитывать на три источника получения инвестиционных средств: амортизационные отчисления, прибыль и привлеченные средства.

При любом варианте будущего развития атомной промышленности, проблемы безопасного обращения с радиоактивными отходами будут требовать своего решения. Решения по обращению с РАО, особенно концептуального или, тем более, стратегического плана, должно предваряться проведением достаточно глубоких научно-исследовательских работ.