

О. Б. Андронов*Институт проблем безопасности НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина***О СОЗДАНИИ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ЖИДКИМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ НА АЭС УКРАИНЫ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Представлены основные аспекты проблемы в сфере обращения с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО) АЭС Украины, подходы к ее решению и предложение специалистов ОП НТЦ НАЭК «Энергоатом» по данному вопросу. Рассмотрен концептуальный принцип создания современного высокотехнологичного комплекса обращения с ЖРО.

Ключевые слова: технология заверщенного цикла, направления модернизации, тактическая и стратегическая задачи, этапы создания системы.

Введение

Проблема радиоактивных отходов (РАО) - это проблема государственного уровня, которая уже многие годы является предметом активного обсуждения. Как отмечают специалисты, причины, мешающие проведению эффективной политики в атомной отрасли в целом, – это отсутствие системного, научно обоснованного и организационно сбалансированного подхода [1]. Важным фактором в решении данной проблемы является утверждение в 2009 г. правительственной стратегии обращения с РАО. Ее цель – создание системы безопасного обращения, включая захоронение уже накопленных РАО. Начало реализации планировалось на 2010 г., срок реализации 50 лет (в три этапа).

В части, касающейся рассматриваемой темы, интерес представляют два первых этапа.

На первом этапе (8 лет) запланировано создание национальной организации по обращению с РАО, изъятие РАО из хранилищ АЭС, создание контейнерного парка, строительство и ввод в эксплуатацию хранилищ для захоронения короткоживущих низко- и среднеактивных отходов и хранения высокоактивных и долгоживущих низко- и среднеактивных отходов.

На втором этапе (30 лет) предусматривается захоронение всех короткоживущих низко- и среднеактивных отходов, строительство и ввод в эксплуатацию хранилища для захоронения высокоактивных и долгоживущих низко- и среднеактивных отходов, разработка технологий по изъятию РАО из объекта «Укрытие».

Третий этап касается только отходов ЧАЭС и объекта «Укрытие».

Предусмотренные меры подразумевают глубокую переработку РАО на площадках АЭС, перепрофилирование межобластных спецкомбинатов в пункты сбора, кондиционирования и контейнерного хранения РАО с дальнейшей их передачей в централизованные хранилища, создание сертифицированного парка контейнеров и мощностей по их производству и др.

Сегодня в связи со сложным экономическим положением в стране есть основание предполагать, что стратегия и сроки ее реализации будут корректироваться.

Проблема ЖРО – существенная часть общей проблемы РАО, решение которой может быть осуществлено на отраслевом уровне.

Анализ сложившихся реалий в украинской атомной энергетике показывает, что создание современной, высокотехнологичной системы обращения с ЖРО отечественных АЭС следует проводить последовательно, поэтапно, исходя от простого решения к сложному. Предлагается пять этапов.

Этап 1. Разработка и внедрение технологии включения ЖРО в твердую матрицу, адаптированной к специфике украинских объектов атомной энергетики.

Этап 2. Разработка и внедрение технологии глубокой очистки кубовых остатков.

Этап 3. Реализация технических мероприятий по сокращению масштабов упаривания.

Этап 4. Сокращение объемов трапных вод.

Этап 5. Создание гибкой технологии обращения (ГТ) с ЖРО и гибкой производственной системы (ГПС) с выходом на безлюдные технологии.

По теме публикации каждый этап отражается в отдельной статье.

Ситуация в сфере обращения с ЖРО

Процесс обращения с ЖРО на действующих украинских АЭС характеризуется отсутствием заверщенного цикла от образования до формирования продукта, готового к дальнейшему хранению и захоронению.

© О. Б. Андронов, 2015

Технология глубокого упаривания не позволяет на выходе получить кондиционный продукт, пригодный для передачи государству (ХАЭС, РАЭС и ЗАЭС). Кочный продукт глубокого упаривания – солевой плав (СП), который согласно ОСПУ-2005 относится к ЖРО. Вопрос о статусе СП, как особом виде радиоактивных отходов, пока не решен.

На ЮУАЭС отсутствие установок глубокого упаривания привело к накоплению кубовых остатков (КО) с высокой солевой концентрацией, что обусловило повышенную инкрустацию солевыми отложениями внутренних поверхностей хранилищ и объемную кристаллизацию.

Общей для всех АЭС является высокая динамика наработки КО и СП и значительная степень заполнения хранилищ (в среднем на 70 %).

Критическая ситуация сложилась на ЗАЭС. Даже при намечившемся в последние годы снижении динамики наработки СП на конец 2016 г. хранилища для временного хранения СП будут заполнены [2]. Актуальной становится необходимость принятия экстренных мер по снятию остроты проблемы.

В 2012 г. была создана экспертная рабочая группа по выбору технологии переработки ЖРО АЭС с целью исключения образования СП [3]. В состав группы вошли как профильные специалисты АЭС, так и представители научных организаций.

Группа посетила АЭС «Пакш» (Венгрия), Ростовскую АЭС (РФ), АЭС «Ясловске Богунице» (Словакия), завод по переработке ЖРО (ЗПЖРО) ЧАЭС и ознакомилась с их опытом по созданию системы кондиционирования ЖРО. Изучен аналогичный опыт Кольской АЭС (РФ).

Одним из негативных факторов в плане решения проблемы ЖРО является отставание отечественной нормативно-правовой базы. В документе [4] отмечается, что в Украине не завершено формирование нормативной базы в сфере обращения с РАО: «Для надежного и эффективного обращения с эксплуатационными РАО АЭС и выполнения требований безопасности МАГАТЭ в сфере обращения с РАО необходимо обеспечить разработку и утверждение критериев приемки РАО АЭС на долговременное хранение/захоронение».

Очевидно, что решение проблемы ЖРО требует научно-технической поддержки и дальнейшего сопровождения в процессе модернизации систем. На начальном этапе такой поддержкой можно считать выполнение договора с ИПБ АЭС НАН Украины «Выбор технологии переработки жидких радиоактивных отходов с целью исключения образования солевого плава». Материалы договора и результаты работы экспертной группы легли в основу при выработке предложения ОП НТЦ НАЭК «Энергоатом» - «Выбор технологии переработки ЖРО для АЭС Украины [2].

Тактика и стратегия решения проблемы ЖРО

Предложено два направления создания завершающего цикла обращения с ЖРО [2]: прямое включение ЖРО в матрицу отвердителя с получением кондиционного конечного продукта;

глубокая очистка КО с получением конечных продуктов с содержанием радионуклидов ниже уровня освобождения и вторичных гетерогенных отходов среднего уровня активности, затворяемых в матрицу отвердителя и отвечающих критериям приема на хранение и захоронение.

Соответственно определена тактическая и стратегическая задачи снятия остроты проблемы обращения с ЖРО.

Тактическая задача - разработка и внедрение технологии прямого отверждения КО методом цементирования и затворения в цементную матрицу гетерогенных отходов.

Стратегическая задача – разработка и внедрение технологии глубокой очистки КО.

Объективно цементирование с последующим захоронением не самый дешевый технологический способ решения проблемы жидких отходов. Следует отметить, что пока не удастся достичь высокой степени их включения в цементную матрицу (это приводит к значительному увеличению общего объема отходов). Однако цементированию сегодня отдается предпочтение, поскольку оно имеет позитивную статистику практического применения в сфере обращения с ЖРО, а также ряд преимуществ:

- 1) универсальность, позволяющая кондиционировать гомогенные и гетерогенные ЖРО;
- 2) безопасность, поскольку относится к холодному производству;
- 3) невысокая энергоемкость;
- 4) обеспечивает получение конечного кондиционного продукта простым способом;
- 5) обслуживание технологии не требует от исполнителей высокой квалификации. Достаточно приобретенных технических навыков персонала АЭС;

- 6) простота автоматизации технологического процесса;
 7) возможность максимального использования стандартизированного оборудования, имеющегося на отечественном техническом рынке;
 8) технологическую линию цементирования легко перестроить под любой другой тип полиминерального матричного материала. Это означает, что может быть обеспечена определенная гибкость технологии.

Позитивным фактом является то, что по мере развития системы обращения с ЖРО масштабы цементирования будут сокращаться. Так, например, решение задачи глубокой очистки КО обеспечит сокращение в 10 – 15 раз. Во столько же раз сократятся соответственно и материальные затраты.

В настоящее время технология цементирования ЖРО используется на Ростовской АЭС (РФ) и на отечественном ЗПЖРО ЧАЭС.

Глубокая очистка КО – вопрос минимизации отходов. Гомогенные и гетерогенные отходы имеют сложный химический, радиохимический и элементный состав.

Характеристики ЖРО украинских АЭС

Характеристика ЖРО	КО	Отработанные сорбенты и шламы
Плотность отходов, кг/м ³	1400±1450	995 - 1005
Радионуклидный состав, % суммарной активности	Cs ¹³⁷ - 52,5 Cs ¹³⁴ - 44,7 Co ⁶⁰ - 1,8 Co ⁵⁸ - 0,5 Mn ⁵⁴ - 0,3 Sb ¹²⁴ - 0,2	Cs ¹³⁷ - 41,3 Cs ¹³⁴ - 22,2 Co ⁶⁰ - 10,0 Co ⁵⁸ - 4,1 Sb ¹²⁴ - 5,4 Mn ⁵⁴ - 2,4 La ¹⁴⁰ - 6,2 Ba ¹⁴⁰ - 5,0 I ¹³¹ - 2,7 Ag ¹¹⁰ - 0,7
Химический состав Концентрация, г/дм ³	Na ⁺ - от 11,0 до 72,0 K ⁺ - от 0,4 до 5,0 Fe ²⁺ - от 0,004 до 0,023 NH ₃ - от 0,001 до 0,167 H ₃ BO ₃ - от 54,4 до 112,5 Cl ⁻ - от 0,042 до 0,545 NO ₃ ⁻ - от 4,43 до 96,5	Na ⁺ - от 0,012 до 0,240 K ⁺ - от 0,002 до 0,051 Fe ²⁺ - от 0,0002 до 0,0140 NH ₃ - от 0,0016 до 0,015 H ₃ BO ₃ - от 1,15 до 7,61 Cl ⁻ - от 0,0002 до 0,0095 NO ₃ ⁻ - от 0,017 до 0,750
pH среды	от 11,8 до 12,8	от 7,2 до 8,4
Солесодержание, г/дм ³	от 214 до 279	от 2,38 до 7,96

Ключевой проблемой глубокой очистки КО является очистка от кобальта и, попутно, от марганца. Для извлечения кобальта необходимо разрушить органические комплексы. Это делается методом окислительной деструкции. Сегодня в практике обращения с КО используется два способа окислительной деструкции: озонирование (Кольская АЭС, РФ) и ультрафиолетовое облучение с введением пероксида водорода H₂O₂ (АЭС «ПАКШ», Венгрия). Очистка от цезия и осветление раствора не вызывает трудностей, поскольку здесь находят применение хорошо отработанные методы (селективная сорбция, ультрафильтрация, мембранная дистилляция, соосаждение и пр.).

Технологии собственно очистки обоих объектов аналогичны. Отличие венгерского и российского вариантов определяется разницей в концептуальной постановке задач. По технологии Кольской АЭС конечной целью является получение СП как общепромышленного отхода, относящегося к категории “exempt waste” (EW - по классификации МАГАТЭ, принятой в 2009 г.). Цель технологии «Пакш» - получение очищенной воды, отвечающей нормам сброса в окружающую среду (СП отсутствует). Комплексная технология «Пакш» привлекательна реализацией идеи извлечения из жидкой фазы боратов (в этом случае вода может рассматриваться как сырье для извлечения компонента, который потенциально можно вернуть в оборот). Очищенный СП Кольской АЭС также в перспективе можно рассматривать как сырье. В целом такой подход отвечает общей идее рационализации в сфере обращения с РАО.

В конце 2012 г. на заседании экспертной рабочей группы было рассмотрено ряд отечественных технологий обращения с КО, не доведенных до промышленного применения (по причине отсут-

ствия финансирования), но имеющих хорошие потенциальные возможности [5]. Это гибкая модульная технология «ОКО» (ИПБ АЭС НАН Украины), технология «СОК» (СНУЯЭП, г. Севастополь), метод «ТОНАК» (ИГХ НАН Украины) из области нанотехнологий. ВНИИНМ им. Бочвара предложена технология остекловывания накопленного на АЭС СП с получением боросиликатного стекла.

Проблема накопленного СП в настоящей публикации не рассматривается.

В технологическом плане варианты решения тактической и стратегической задач на сегодня представлены на рис. 1.

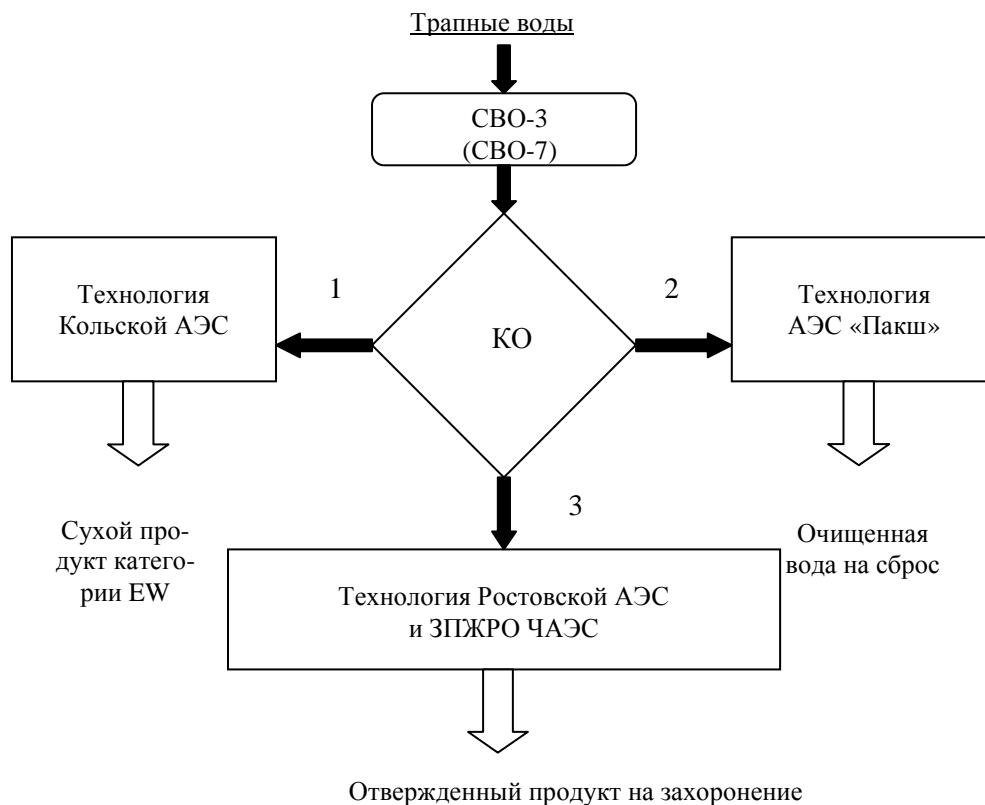


Рис. 1. Варианты завершающего цикла обращения с КО.

Решение тактической и стратегической задач не предусматривает реконструкцию действующих систем.

Развитие системы обращения с ЖРО

Дальнейшим шагом в развитии системы обращения с ЖРО должно стать сокращение масштабов упаривания. Для этого необходимо перейти на иной принцип разделения радиоактивно загрязненных вод (РЗВ).

По сегодняшний день у нас действует двухгрупповой принцип, согласно которому жидкие отходы подразделяются на гетерогенные (отработавшие сорбенты, шламы, различного рода отложения) и гомогенные (все остальные). Гетерогенные отходы направляются в свои хранилища (как правило, это хранилища жидких и твердых РАО, а трапные воды перерабатываются по единой выпарной схеме. Со времен начала становления отечественной атомной энергетики вопрос кондиционирования и захоронения таких отходов находился в ситуации отложенного решения.

Для зарубежных АЭС характерен полигрупповой принцип разделения технологических РЗВ, исходя из их физических, химических и радиохимических характеристик, что дает возможность применять альтернативные упариванию методы очистки. В качестве примера на рис. 2 представлена типовая схема переработки РЗВ (трапных вод) для реакторов PWR (аналог реакторов ВВЭР) [6].

Задача сокращения масштабов упаривания имеет, прежде всего, экономическую направленность. Сокращение до разумного минимума объемов КО в сочетании с отказом от глубокого упаривания - позитивный вклад в повышение рентабельности предприятия и обеспечение его безопасности.

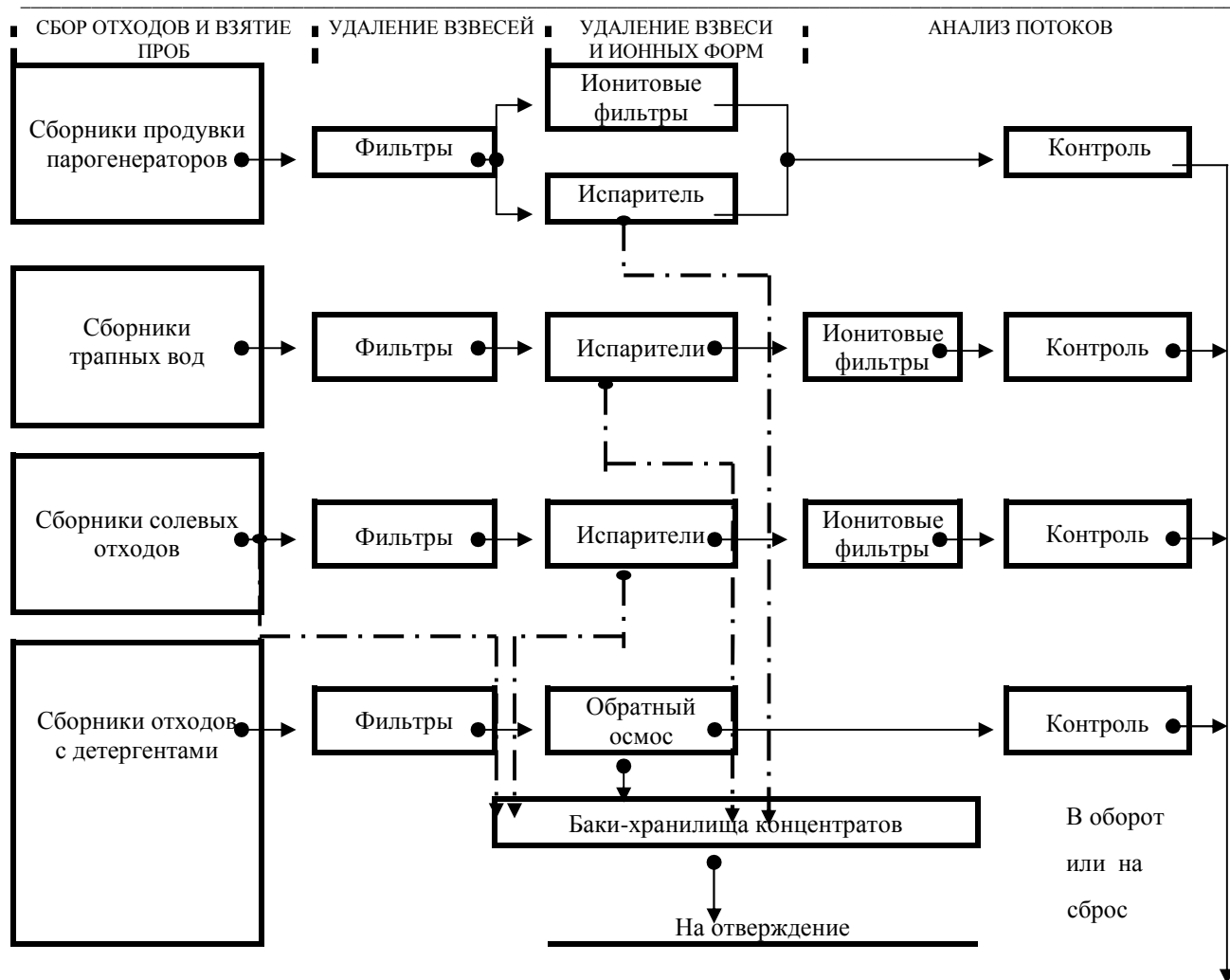


Рис. 2. Типовая схема переработки ЖРО АЭС с реакторами PWR.

Интенсивное развитие сорбционных и мембранных технологий в настоящее время и достижение ими необходимого качественного уровня открывает новые возможности в организации обращения с трапными водами.

Рационализация процесса очистки ЖРО может быть достигнута при разделении трапных вод на потоки с выделением в отдельный поток отходов, содержащих детергенты, продукты дезактивации, органические и неорганические комплексы.

Внедрение альтернативных упариванию технологий полностью не исключает потребность в термоконцентрировании, но масштабы его сокращаются до разумного минимума.

В экономическом и организационно-техническом плане сокращение объемов трапных вод является дорогостоящей и сложной задачей. Она требует вмешательства в существующий эксплуатационный регламент и замены большого количества оборудования.

Специалистами ЗАЭС проведен анализ, показавший существенную разницу в образовании объемов ЖРО на отечественных АЭС с энергоблоками ВВЭР и АЭС «Эмсланд» с энергоблоками PWR [7]. В таблице приведены сравнительные данные.

Образование трапных вод и КО

Энергоблок	Электрическая мощность энергоблока, мВт	Годовое образование трапных вод, м ³	Годовое образование кубового остатка ЖРО, м ³	Концентрация солей в кубовом остатке, %	Образование кубового остатка ЖРО на мегаватт установленной мощности, м ³
АЭС «Эмсланд»	1400	5500	10	25	0,007
ЗАЭС	1000	12100	160	25	0,2

Причины того, что на АЭС «Эмсланд» количество жидких отходов на 1 мегаватт установленной мощности почти в 30 раз меньше, чем на ЗАЭС известны. По степени значимости их можно выстроить в таком порядке:

- отличие в организации водно-химического режима теплоносителя первого контура;
- значительное количество борсодержащих вод на АЭС с ВВЭР, попадающих в трап с неорганизованными протечками.

На АЭС «Эмсланд» используются нерегенерируемые иониты, объем ионитовых загрузок фильтров систем очистки примерно в 5 раз меньше, так как уровень поступления примесей в теплоноситель низкий ввиду ограниченного дозирования в него реагентов. Для энергоблоков ЗАЭС применяются регенерируемые иониты, что создает дополнительные источники образования ЖРО в виде взрыхляющих, регенерационных и отмывочных вод.

При решении задачи сокращения объемов трапных вод неизбежен пересмотр некоторых проектных решений и нормативных документов (в частности, СОУ-Н ЯЭК 1.013:2008)[8].

Кратко о современных гибких производственных системах и их применимости в сфере обращения с РАО

Интеграция и унификация производственных процессов и технологических операций имеет целью рационализацию производства, снижение трудовых и материальных затрат, повышение качества управления и рентабельности предприятия. Для АЭС это важное направление перехода на безлюдные технологии в условиях возрастающих требований безопасности.

ЖРО – важная составляющая РАО. Успешность решения проблемы ЖРО путем создания современной системы обращения с ними позволит выйти на новый уровень обращения с РАО в целом. Принципиальным вопросом является расширение диапазона возможностей системы. Она должна функционировать как при нормальных условиях эксплуатации ядерной энергетической установки, когда характеристики ЖРО заранее известны, так и при нарушении нормальных условий эксплуатации (включая аварийные ситуации, когда химический, радиохимический и элементный составы РЗВ могут существенно меняться). При авариях высокого уровня могут образовываться неорганизованные локальные скопления радиоактивных вод (как на объекте «Укрытие» ЧАЭС). Отсюда следует, что технологический комплекс сбора, подачи, очистки, переработки и кондиционирования ЖРО должен быть гибким, а логистика производственных процессов адаптирована к экстраординарным ситуациям.

Идея гибкой технологии и гибкого производства не нова. Исторически она возникла при переходе эпохи фордизма в эпоху постмодернизма (постфордизма) и получила интенсивное развитие с появлением технологий нового поколения.

Гибкая производственная система (ГПС) - это концепция современного гибкого автоматизированного производства (ГАП) (здесь и далее даны термины и определения по ГОСТ 26228-90).

Подробнее о ГПС и гибких производствах освещено в работах [9 - 18].

В общем случае ГПС по организационным принципам реализуется как:

- гибкая автоматизированная линия (ГАЛ);
- гибкий автоматизированный участок (ГАУ);
- гибкий автоматизированный цех (ГАЦ);
- гибкий автоматизированный завод (ГАЗ).

В плане решения специфических производственных задач для АЭС интерес представляют ГАЛ, ГАУ и ГАЦ. ГАУ и ГАЛ – основные виды гибких автоматизированных производственных систем, отдельной единицей оборудования которых или технологической ячейкой является гибкий производственный модуль (ГПМ).

В целом ГПС – это совокупность единиц технологического оборудования, снабженных средствами и системами, обеспечивающими функционирование в автономном режиме. По признаку гибкости все существующие виды гибких производств могут быть разделены на четыре основных группы. Применительно к условиям АЭС это:

- группа 1 – основывается на жесткой технологии, когда технологическое оборудование предназначено для операций только с одним продуктом и не может быть приспособлено для обращения с другим;

- группа 2 – основывается на перестраиваемой технологии производства. Оборудование при замене отдельных его компонентов может расширить сферу своего применения;

группа 3 – основывается на переналаживаемых технологических процессах и соответствующем оборудовании. Приспосабливаются и регулируются отдельные узлы и механизмы, заменяются устройства. К этой группе относится большинство автоматизированных линий;

группа 4 – основывается на гибкой технологии производства с применением оборудования, приспособленного для высокого уровня автоматизации. В этом случае для перехода на работу в другом режиме и с продуктом с другими количественными и качественными характеристиками переналадки не требуется, так как оборудование автоматически переналаживается по командам системы управления.

Современная АЭС в целом – жесткое производство, нацеленное на получение одного вида товарного продукта (электроэнергии). В то же время как логистический объект атомная энергетика в лице образующих ее предприятий имеет особенности, существенно отличающие ее от любого известного производства. К таким особенностям следует отнести:

1) предприятия кроме товарного продукта (электроэнергии) производят и нетоварный продукт, подлежащий жесткому контролю. Это отработанное ядерное топливо (ОЯТ) и РАО. Деятельность АЭС осуществляется соответственно по трем разновекторным направлениям (логистическим каналам А, В и С) (рис. 3), из которых только канал А доходный;

2) АЭС превосходит любое промышленное производство по удельным затратам на обеспечение безопасности;

3) условия формирования логистических цепей по каждому вектору индивидуальны, что обуславливает специальные требования к организации контроля и управления, к поиску оптимального варианта интеграции и дезинтеграции.

Каналы А и В в настоящей работе не рассматриваются.

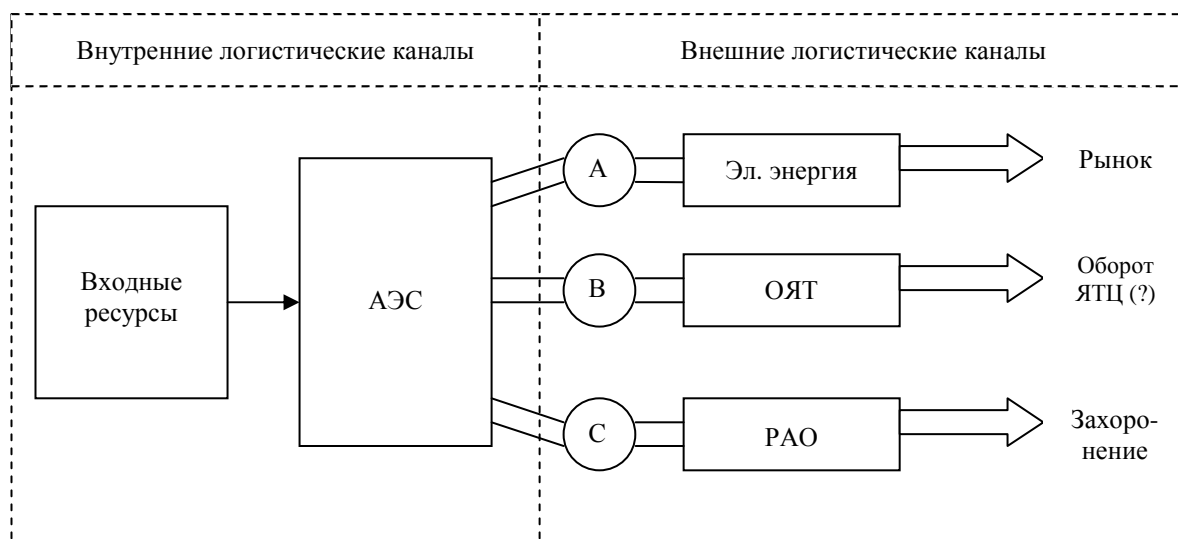


Рис. 3. Схема функционирования АЭС как логистического объекта.

Отметим, что логистическая наука (наука об управлении материальными и информационными потоками в пространстве и времени) выступает как дисциплина, включающая в себя снабженческую логистику, логистику производственных процессов, распределительную логистику, транспортную логистику, информационную логистику и ряд других.

По теме объектом внимания является логистика производственных процессов канала С.

Основной логистический принцип - непрерывность материального потока. Остановленный материальный поток образует материальный запас. Для АЭС это означает, что даже при решении задачи создания полноциклового системы обращения с ЖРО канал С не сможет качественно функционировать без решения внешней логистической задачи. Такое решение в Украине предусматривается правительственной стратегией.

Большие успехи в разработке и реализации логистических систем достигнуты в Японии, Израиле, США. Примером могут служить такие действующие системы, как «Канбан», «JIT», «Шодзинка», «Дзидоко», «ОПТ», «СИМ». Это наиболее востребованные производственные логистические системы на сегодняшний день, которые в данном случае являются информационным ориентиром при разработке отечественной системы, нацеленной на решение проблем украинских АЭС. Подробнее по данной теме в работах [19 – 22].

Интеграция в сфере обращения с РАО - это объединение в общую систему ряда не связанных ранее между собой технологических операций с целью рационализации производственного процесса, улучшения качественных и экономических показателей, унификации технических средств, минимизации трудозатрат, обеспечения гибкости производства и повышения его безопасности.

Одним из возможных путей решения интеграционной задачи, например, может стать развитие технологии мокрой очистки газоаэрозольных вентиляционных выбросов и дымовых газов установок сжигания горючих твердых радиоактивных отходов (ТРО) и углеводородных жидких сред. Отходом мокрой очистки являются РЗВ. Отходом термической переработки горючих ТРО является зола. Оба вида отходов можно включить в цикл обращения с ЖРО. Зола и шлаки при формировании конечного продукта переработки могут быть затворены в твердую матрицу (совместно или отдельно с гетерогенными ЖРО) с использованием единой технологической линии.

Оценка данного пути интеграции приведена в работе [2]. Более подробный анализ будет дан в отдельной статье.

Заключение

Создание современной системы обращения с ЖРО – длительный, наукоемкий и дорогостоящий процесс. Как показывают доступные источники информации, наибольшие затраты ожидаются при реализации этапа 5 (высока начальная стоимость разработки и внедрения гибкой автоматизированной и логистической систем). В то же время это затраты единовременные. Система рассчитана на функционирование в течение длительного периода времени. Благодаря своей специфике и построению она способна адаптировать новейшие достижения в данной сфере без перестройки технологической структуры. Срок окупаемости, в зависимости от степени сложности и наукоемкости, оценивается специалистами в пределах 4 - 10 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Восильченко Н. В., Носовский А. В., Павленко А. А.* Обращение с радиоактивными отходами в Украине // ЯРБ - 2006. - № 2. - С. 5 – 7.
2. *Материалы* заседания совета заместителей главных инженеров ОП АЭС, к компетенции которых относятся вопросы обращения с РАО от 18.12.2013.
3. *Материалы* заседания совета заместителей главных инженеров ОП АЭС, к компетенции которых относятся вопросы обращения с РАО от 20.09.2012. Протокол № 1.
4. *Анализ* обращения с РАО при эксплуатации АЭС: (Отчет) / ГП НАЭК «Энергоатом», 2011.
5. *Протокол № 1* заседания экспертной рабочей группы по выбору технологии переработки ЖРО АЭС с целью исключения образования солевого плава. 06.11.2012. - г. Нетешин.
6. *Никифоров А. С., Куличенко В. В., Жихарев М. И.* Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоиздат, 1985.
7. *Добровольская И. Ю., Голубчик П. А., Войцеховский В. Ф., Шигин С. В.* Отчет «О проведении детального анализа причин и источников образования жидких радиоактивных отходов». – 2012.
8. СОУ-Н ЯЭК 1.013:2008. Теплоноситель первого контура ядерных энергетических реакторов типа ВВЭР-1000. Технические требования и способы обеспечения качества.
9. *Блехерман М. Х.* Гибкие производственные системы: организационно-экономические аспекты. – М.: Машиностроение, 1988.
10. *Гибкое* автоматизированное производство / Под ред. С. А. Майорова и Г. В. Орловского. – Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1983.
11. *Дащенко А. И., Белоусов А. П.* Проектирование автоматизированных линий. – М.: Высш. шк., 1983. - 328 с.
12. *Пуховский Е. С.* Технологические основы гибкого автоматизированного производства. – К.: Вища шк., Главное изд-во, 1989.
13. *Гибкие* производственные комплексы / Под ред. П. Н. Белянина и В. А. Лещенко. – Л. Машиностроение, 1984. - 384 с.
14. *Вальков В.М.* Контроль в ГАП. – Л.: Машиностроение, 1986.
15. *Нахапетян В. Г.* Диагностирование оборудования гибкого автоматизированного производства. – М.: Наука, 1985.
16. *Андронов О. Б., Стрихарь О. Л.* Гибкая технология переработки жидких радиоактивных отходов. – Чернобыль, 2000. – 36 с. - (Препр. /НАН Украины. МНТЦ «Укрытте»; 00-9).
17. *Андронов О. Б., Стрихарь О. Л., Масько А. Н.* Проблема обращения с жидкими радиоактивными отходами АЭС Украины и возможные подходы к их решению. – Чернобыль, 2004. – 42 с. - (Препр. /НАН Украины. ИПБ АЭС; 04-5).

18. Андронов О. Б., Ключников А. А., Стрихарь О. Л., Щербин В. Н. Проблемы обращения с жидкими радиоактивными отходами в чрезвычайных ситуациях // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2005. – Вип. 5. – С. 129.
19. Гончаров П. Л. Основы логистики: учеб. пособ. – Оренбург, 1995. - 84 с.
20. Залманов М. Е. Логистика: учеб. пособие / СГТУ. – Саратов, 1995. - 167 с.
21. Лавров О. В. Материальные потоки в логистике / СГТУ. - Саратов, 1995. - 35 с.
22. Леницин И. А., Смоляков Ю. Н. Логистика: учеб. пособ. - В 2 ч. – М.: Машиностроение, 1996.
23. Андронов О. Б. О новом принципе мокрой аэрозольной очистки и его месте в развитии производственной системы обращения с радиоактивными отходами // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2014. – Вип. 22. – С. 92.

О. Б. Андронов

Институт проблем безпеки НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

ПРО СТВОРЕННЯ СУЧАСНОЇ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З РІДКИМИ РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ НА АЕС УКРАЇНИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Представлено основні аспекти проблеми у сфері поводження з рідкими радіоактивними відходами (РРВ) АЕС України, підходи до її вирішення і пропозиція спеціалістів ВП НТЦ НАЕК «Енергоатом» з даного питання. Розглянуто концептуальний принцип створення сучасного високотехнологічного комплексу поводження з РРВ.

Ключові слова: технологія завершеного циклу, напрямки модернізації, тактичні та стратегічні завдання, етапи створення системи.

O. B. Andronov

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine

OF CREATION OF UP-TO-DATE SYSTEM FOR LIQUID RADWASTE MANAGEMENT AT UKRAINE'S NPPs. PROBLEM STATEMENT

The main aspects are addressed of problems in the field of liquid radwaste (LRW) management for Ukrainian NPPs; approaches for its decision, and offers of NNEGС Energoatom SE STC specialists concerning the above issue. Conceptual principle of creation of up-to-date hi-tech complex for LRW management is considered.

Keywords: complete cycle technology, modernization fields, tactic and strategic tasks, system creation stages.

REFERENCE

1. Vasilchenko V. N., Nosovskiy A. V., Pavlenko A. A. Radwaste management in Ukraine // YaRB. – 2006. -No. 2. - P. 5 – 7. (Rus)
2. Materials of session of Council of Chief Engineer Deputies of SE NPPs, whose competence includes the radwaste management issues, dated 18.12.2013. (Rus)
3. Materials of session of Council of Chief Engineer Deputies of SE NPPs, whose competence includes the radwaste management issues, dated 20.09.2012. Memo No. 1. (Rus)
4. Analysis of RAW management under operation of SE NNEGС Energoatom NPPs, 2011. Report. (Rus)
5. Memo № 1 of session of expert working group for choosing of technology for NPP LRW treatment with the purpose to exclude origination of salt fusion cake. 06.11.2012, town of Neteshin. (Rus)
6. Nikiforov A. S., Kulychenko V. V., Zhikharev M. I. Sterilization of liquid radioactive wastes. – Moskva: Energoizdat, 1985. (Rus)
7. Dobrovolskaya I. Yu., Holubchik P. A., Voitsekhovskiy V. F., Shigin S. V. Report «Of conduct of detailed analysis of reasons and sources for production of liquid radioactive wastes». – 2012. (Rus)
8. SOU-N YaEK 1.013:2008. Primary coolant of VVER–1000 reactor types. Technical requirement and quality assurance ways. (Rus)
9. Blekherman M. Kh. Flexible production systems: organizing and economic aspects. – Moskva: Mashinostroyeniye, 1988. (Rus)
10. Flexible automated operation / Ed. by S. A. Mayorov and G. V. Orlovskiy. – Leningrad: Mashinostroyeniye, Leningradskoye otdeleniye, 1983. (Rus)
11. Dashchenko A. I., Belousov A. P. Design of automated lines. – Moskva: Vysshaya shkola, 1983. - 328 p. (Rus)
12. Pukhovskiy Ye. S. Technology fundamentals of flexible automated operation. – Kyiv: Vyssha shkola, Glavnoye izdatelstvo, 1989. (Rus)
13. Flexible production complexes / Ed. by P. N. Belyanin and V. A. Leshchenko. – Leningrad: Mashinostroyeniye, 1984. - 384 p. (Rus)

14. *Val'kov V. M.* Control in FAO. – Leningrad: Mashinostroyeniye, 1986. (Rus)
15. *Nakhapetyan V. G.* Diagnosis of equipment for flexible automated operation. – Moskva: Nauka, 1985. (Rus)
16. *Andronov O. B., Strykhar O. L.* Flexible technology for treatment of liquid radioactive wastes. – Chornobyl, 2000. -36 p. - (Prepr. / Ukraine's NAS. ISTC «Shelter», 00-9). (Rus)
17. *Andronov O. B., Strykhar O. L., Mas'ko A. N.* Problem of liquid radwaste management of Ukraine's NPPs and possible approaches to its solution. – Chornobyl, 2004. - 42 p. - (Prepr. / Ukraine's NAS. ISP NPP; 04 -5). (Rus)
18. *Andronov O. B., Kliuchnykov O. O., Strykhar O. L., Shcherbin V. M.* Problems of liquid radwaste management in emergency situations // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2005. – Iss. 5. – P. 129. (Rus)
19. *Goncharov P. L.* Logistics fundamentals: Tutorial. – Orenburg, 1995. - 84 p. (Rus)
20. *Zalmanov M. Ye.* Logistics: tutorial / SSTU. – Saratov, 1995. - 167 p. (Rus)
21. *Lavrov O. V.* Material flows in logistics / SSTU. - Saratov, 1995. - 35 p. (Rus)
22. *Lenshchin I. A., Smolyakov Yu. N.* Logistics: tutorial. In 2 volumes. – Moskva: Mashinostroyeniye, 1996. (Rus)
23. *Andronov O. B.* Of a new principle of wet aerosol cleaning and its place in development of production system for radwaste management // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). – 2014. – Iss. 22. – C. 92. (Rus)

Надійшла 23.12.2014

Received 23.12.2014