

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ МБК С ОЯТ НА ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС

Т.Б. Маликов, М.О. Потапкин, С.В. Самусь (ФГУП НИТИ им. А.П. Александрова),
В.М. Зозуля (ОАО «КБСМ»),
В.Н. Симонов (Филиал концерна Росэнергоатом «Ленинградская АЭС»)

Представлен опыт создания автоматизированной системы управления подготовкой металлобетонных контейнеров с отработавшим ядерным топливом к сухому хранению на ХОЯТ Ленинградской АЭС. Описаны работы по обоснованию технологии вывода влаги из контейнера, представлена технологическая схема объекта автоматизации, описаны особенности программной и аппаратной реализации системы автоматизированного управления.

Ключевые слова: ядерное топливо, топливный цикл, контур регулирования, диагностика, моделирование, имитатор.

Объем работ при создании автоматизированных систем в атомной отрасли всегда намного выше, чем в других отраслях промышленности. Это связано как с повышенными требованиями к надежности оборудования и ПО, так и с особенностями внедрения этой техники на действующих объектах. В первую очередь это касается систем, непосредственно участвующих в обращении с ядерным топливом и действующими объектами использования атомной энергии.

Одним из основных ТП атомной энергетики является так называемый «топливный цикл» — процесс изготовления топлива, его работа в реакторе, длительное хранение и переработка. До недавнего времени этот цикл был ограничен понятием «мокрого» хранения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) в приреакторных или выделенных бассейнах АЭС. Однако в начале 90-х годов XX века объем накопленного топлива сравнялся с объемами станционных хранилищ ОЯТ, что поставило под вопрос дальнейшее функционирование АЭС, особенно с реакторами типа РБМК-1000. Поэтому в начале 90-х годов в России остро встал вопрос разработки технологии перевода ОЯТ на длительное сухое хранение. В соответствии с приказом Минатома России № 142 от 24.04.95 была разработана концепция создания необходимой технической инфраструктуры и решения целого ряда задач, в числе которых разработка контейнеров, предназначенных для хранения и транспортировки ОЯТ, а также создание технологической инфраструктуры, необходимой для перевода топлива на сухое контейнерное хранение. В рамках этой концепции были разработаны транспортно-упаковочные комплекты для транспортировки и хранения ОЯТ, создана технология по подготовке топлива к хранению в металлобетонных контейнерах (МБК), возведены соответствующие комплексы при ХОЯТ станций с реакторами типа РБМК-1000, построено хранилище РТ-2 на Уральском горнохимическом комбинате (г. Железногорск). Главным итогом стал вывоз первого эшелона с ОЯТ с Ленинградской АЭС в 2012 г.

Одним из элементов этой технологии является процедура подготовки МБК с ОЯТ к сухому хранению, которая включает операции по обеспечению влажности газовой среды в МБК < 20 г/м³, заполнению инертными газами пространства хранения топлива

в контейнере и контролю герметичности разъемных соединений контейнера. Тщательность выполнения данных операций гарантирует безопасность контейнерного хранения топлива в течение 50 лет. Поэтому обеспечению необходимых режимов подготовки контейнеров при разработке ТП перевода ОЯТ на сухое хранение было уделено повышенное внимание.

Основные способы решения задач по понижению влажности ОЯТ и контролю герметичности контейнера достаточно широко известны. Это вывод влаги за счет вакуумирования внутренней полости контейнера и использование гелиевых течеискателей для поиска неплотностей. Однако конкретные решения отечественной технологической системы подготовки, а также конструкция самого контейнера существенно отличались от зарубежных решений. Эти обстоятельства потребовали выделения разработки и обоснования технологии подготовки МБК с ОЯТ в отдельное направление исследований.

Решение этой задачи по обоснованию и обеспечению режимов подготовки ОЯТ к хранению была поставлена перед ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в начале 1997 г. После знакомства с задачей стало понятно, что принятая технологическая схема требует достаточно высокой точности поддержания параметров, что не позволит вести процесс в ручном режиме, в том числе по соображениям радиационной безопасности. Необходимо было определить такие параметры процесса, как оптимальную скорость снижения давления, временные интервалы выдержки, критерии завершения отдельных фаз и всего процесса. Так как на момент начала работ отсутствовали аттестованные математические модели, позволяющие описать тепло-массообменные процессы в условиях низких давлений, физическое моделирование явилось наиболее приемлемым средством изучения этого процесса.

Обоснование технологического процесса

В связи с этим на площадке ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» совместно с ОАО «КБСМ» был создан полномасштабный стенд СМ-Э322, который позволял смоделировать ТП подготовки. Стенд состоял из натурального контейнера с электрообогреваемыми имитаторами ОЯТ, конденсатора и системы вакуумирования. Для изучения процессов вывода влаги

из МБК стенд был оборудован большим числом датчиков, которые позволили исследовать состояние как самого контейнера, так и оборудования стенда. Сбор информации от датчиков обеспечивал многоканальный измерительный комплекс, специально созданный для данного стенда.

Задачей физического моделирования системы подготовки МБК к сухому хранению являлось не только получение информации о параметрах процесса, но и корректировка технологических решений по составу и параметрам оборудования промышленной системы. Всего на стенде было проведено свыше 20 экспериментальных режимов, длительностью 10...100 ч каждый.

Результатом этих экспериментов стала выработка картограммы режимов и предложения по корректировке технологической схемы системы подготовки. Кроме того, полученные результаты свидетельствовали, что надежное функционирование данной системы возможно только при использовании современных средств автоматизации. Такая автоматизированная система была разработана и внедрена на ХОЯТ Ленинградской АЭС.

Характеристика объекта автоматизации

За рубежом операции по подготовке контейнеров к хранению проводятся в ручном режиме, субъективно оцениваются критерии завершения подготовки, а автоматика отвечает лишь за регулирование отдельных параметров процесса. В отличие от зарубежных аналогов, созданная на ЛАЭС технологическая система дает возможность максимально автоматизировать процесс подготовки МБК к хранению.

Технологическая система подготовки МБК с ОЯТ, разработанная ОАО «КБСМ» на основе результатов работы стенда, имеет структуру, показанную

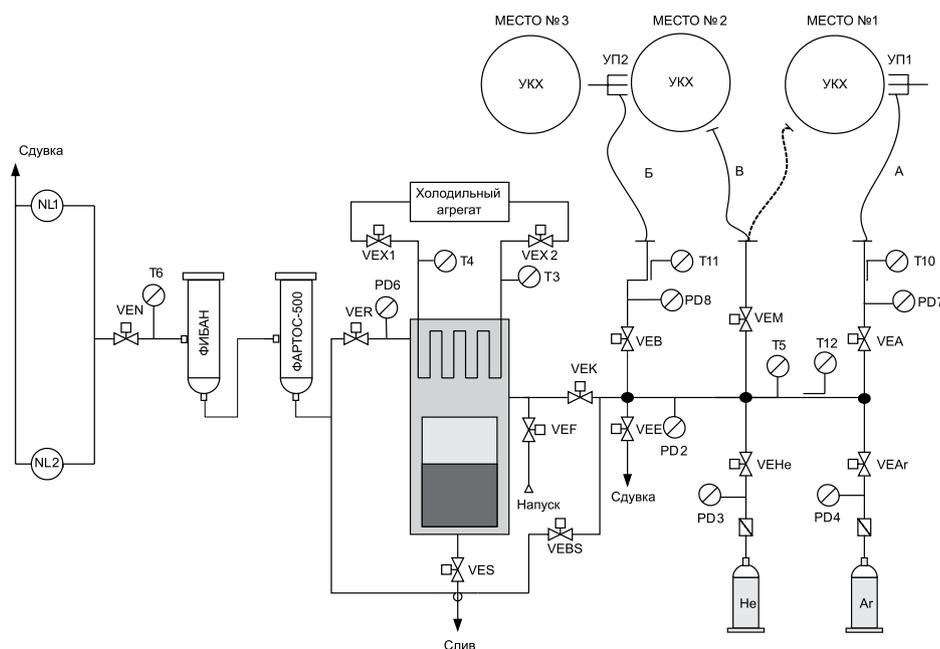


Рис. 1. Технологическая схема системы подготовки

на рис. 1. Контейнеры с ОЯТ могут устанавливаться на одно или сразу на два поста подготовки к хранению. Для поддержания необходимого давления в системе порядка 0,6..5 кПа используется регулирующийся клапан VER с электроприводом и вакуумные насосы. При помощи датчиков давления и температуры определяется состояние системы. Заполнение полостей МБК аргоном и гелием осуществляется от баллонной рампы. Система размещена в шести помещениях здания ХОЯТ ЛАЭС.

АСУ подготовкой МБК с ОЯТ

АСУ предназначена для управления следующими операциями ТП: контроль герметичности разъемных соединений манометрическим способом, удаление влаги из полости МБК, заполнение полостей контейнера гелием, контроль герметичности при помощи гелиевого течеискателя, заполнение полостей рабочими газами, формирование отчетных документов. Так как процесс подготовки МБК с ОЯТ, тем не менее, включает некоторое число ручных операций, в автоматизированную систему введены функции поддержки оператора в виде информационно-советующих видеокладов и специальных пультов синхронизации процесса.

АСУП УКХ обеспечивает:

- управление ТП подготовки МБК с ОЯТ к сухому хранению в автоматическом режиме;
- уменьшение объемов ручных операций в непосредственной близости с МБК с ОЯТ и снижение дозовой нагрузки на персонал;
- надежное функционирование технологического оборудования средств осушки УКХ за счет контроля состояния и наработки оборудования;
- оперативный контроль состояния контейнера в процессе подготовки к хранению (в части контроля герметичности, осушки и заполнения газами);

герметичности, осушки и заполнения газами);

- формирование в автоматическом режиме технологических протоколов и отчетных документов.

Работа системы может осуществляться в ручном и автоматическом режиме. Длительность одного технологического цикла может достигать до 14 дней в зависимости от характеристик и состояния ОЯТ. В процессе работы формируется технологический протокол, состоящий более чем из 250 различных параметров. Система обеспечивает влажность газовой среды в МБК в пределах 8 г/м^3 .

Для обеспечения необходимой достоверности результатов в АСУП введены

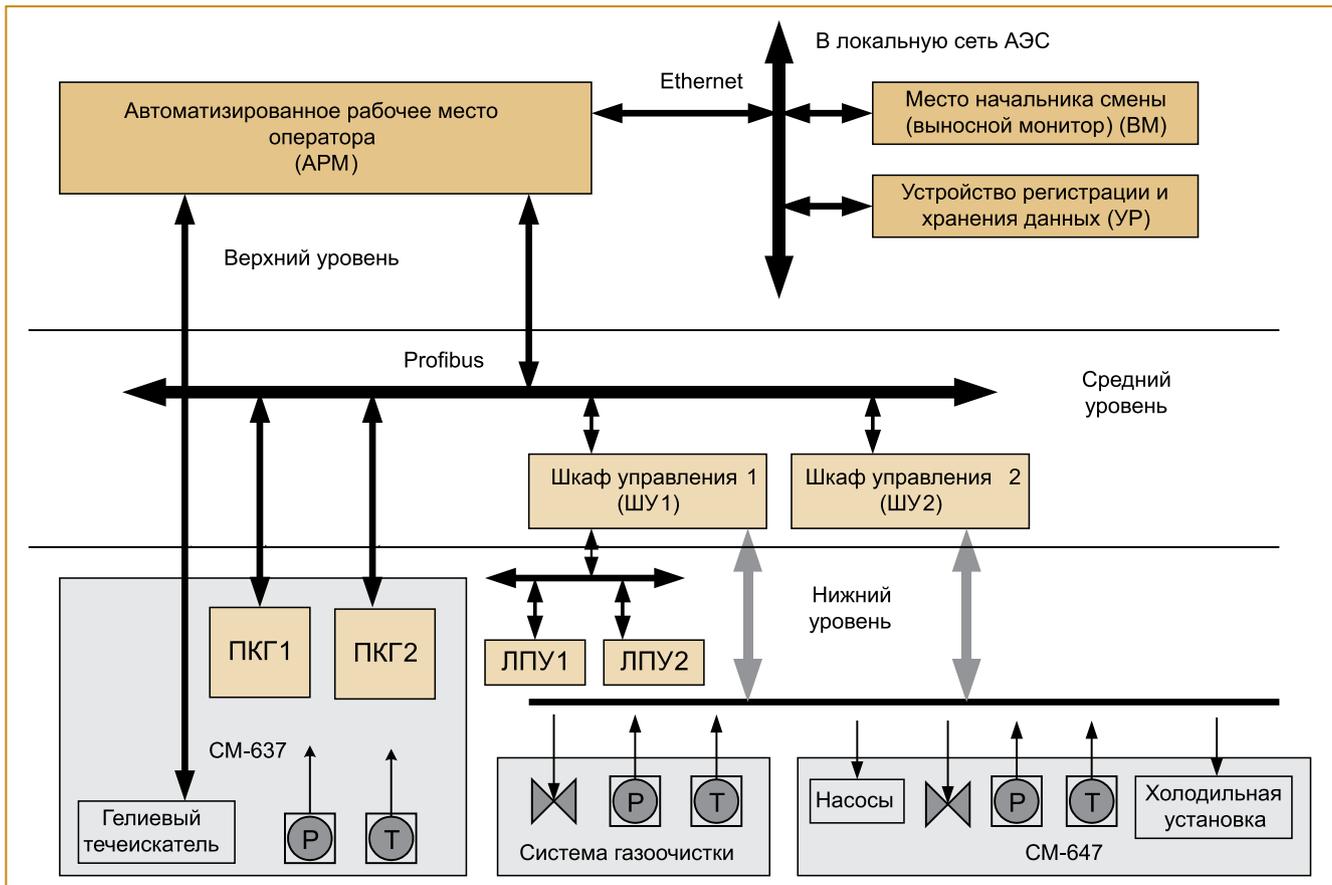


Рис. 2. Структурная схема автоматизированной системы подготовки

Аппаратная реализация системы

несколько уровней диагностирования состояния оборудования. На первом уровне используются аппаратные механизмы выявления неисправностей. Так на уровне шкафов управления диагностируются следующие отказы: замыкание и обрыв цепи датчика, срабатывание защиты по току в цепях питания исполнительных механизмов, пробой изоляции в цепях 220 В, ручное включение аварийной защиты, перегрев оборудования шкафов управления, несанкционированное вскрытие дверей шкафов управления. На втором уровне производится сопоставление состояния и временных характеристик процесса управления технологическим оборудованием, а также контролируются взаимосвязанные параметры процесса. На третьем уровне диагностики производится выявление отказов, связанных с ходом ТП. Так как наработку оборудования в такой системе достаточно трудно учитывать статистическими методами, в АСУП ведется учет наработки оборудования в часах для насосов и аналогичных устройств, в циклах для клапанов и регуляторов и в календарном времени для датчиков и преобразователей. При выходе значений наработки за заданные значения выдаются соответствующие сообщения.

В качестве основы аппаратно-программной реализации АСУП была выбрана платформа Simatic фирмы Siemens. Система была разработана и изготовлена специалистами ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» и ОАО «КБСМ».

АСУП имеет трехуровневую распределенную архитектуру, представленную на рис. 2. На нижнем уровне представлены датчики, исполнительные устройства, насосные агрегаты, холодильная установка, локальные пульта управления (ЛПУ), а так же приборы контроля герметичности (ПКГ). Для датчиков давления используется интерфейс 4...20 мА, датчики температуры ТСП подключаются по четырехпроводной схеме. Управление регулятором и клапанами осуществляется при помощи электромеханических приводов производства ОАО «Сплав». Обмен информацией с устройствами ПКГ, ЛПУ осуществляется по протоколу Profibus DP, а для обмена с гелиевым течеискателем ТИ1-30 использовался специальный протокол, разработанный совместно со специалистами ОАО «Измеритель».

Приборы контроля герметичности выполняют операции по проверке утечек из закрытых технологических полостей контейнера. Всего проверке подлежат 17 точек контроля. Результаты контроля передаются оператору, который выполняет операции по подключению прибора к полости, а также передаются в АСУП для фиксации в протоколах.

Средний уровень системы включает шкафы управления ШУ1 и ШУ2, построенных на базе контроллеров Simatic CP-314-2DP. В шкафах смонтированы источники питания, пускатели и промежуточные реле,



Рис. 3. Шкаф управления внешний вид, конструкция и размещение на объекте

а также устройства нормирования сигналов. Шкафы имеют исполнение IP55 и монтируются непосредственно у исполнительных устройств (рис. 3). Для калибровки, юстировки, проверки измерительных каналов, управления запорной арматурой и устройствами в процессе ремонта в шкафах используются панели операторов ОР-73. Так же с помощью этих панелей производится настройка переменных ТП, аварийных и предупредительных уставок. Шкафы управления объединены с АРМ оператора при помощи сети Profibus DP. Шкафы управления обеспечивают сбор информации от 35 аналоговых и 78 дискретных входных каналов, а также выдачу управляющих воздействий на 40 дискретных выходных каналов различного типа. Для индикации и настройки системы используется 270 различных видеокладов локальных панелей операторов.

Верхний уровень системы (АРМ оператора, рис. 4) построен на базе промышленной панельной ПЭВМ с сенсорным экраном РС-677 В фирмы Siemens с размером экрана 19 дюймов. Связь со средним уровнем осуществляется по сети Profibus DP. Для дополнительного контроля за работой технологического оборудования в систему введено рабочее место начальника смены, при помощи которого производится доступ к архивной информации АСУП, а также формируется отчетная документация.

Метрологическая аттестация системы выполнялась с участием специалистов ВНИИМ им Д. И. Менделеева.

Программное обеспечение АСУП

При создании ПО АСУП использовались продукты фирмы Siemens. Использование единой среды программирования позволило избежать проблем

стыковки сред разных производителей. Для разработки ПО панелей операторов ОР73, а также рабочего места начальника смены использовался пакет WinCC Flexible-2005. АРМ оператора создано на базе SCADA WinCC 6.2.



Рис. 4. АРМ оператора

Для разработки ПО контроллеров использовался пакет Step7 5.4 и графовый язык HiGraph 5.3.

Стоит особо отметить продукт HiGraph V5.3. Его использование значительно сократило трудоемкость разработки алгоритмов управления системой, а кроме того, позволило говорить с технологическим персоналом, далеким от программирования, на понятном языке графов состояния. В рамках единой среды представлена как среда разработки, так и отладчик, который позволяет отслеживать процесс выполнения графа и его историю состояний. В ПО АСУП работает 12 типов разработанных в этой среде алгоритмов, а наиболее большой из них содержит около 250 состояний и отвечает за основной ТП. На рис. 5 приведен пример алгоритма управления запорным клапаном, разработанный в среде HiGraph.

Алгоритм управления технологической системой в терминах HiGraph построен как набор взаимосвязанных графов. За работу исполнительных устройств, таких как клапан, насос и т.д., отвечают графы прямого управления, которые взаимодействуют непосредственно с входными/выходными каналами. Следующий уровень составляют графы локальных функций, которые отвечают за выполнение отдельных операций и объединяют несколько графов прямого управления. К таким операциям в данной системе относится граф слива конденсата и контроля на посту обслуживания. Основной граф отвечает за выполнение ТП всего комплекса.

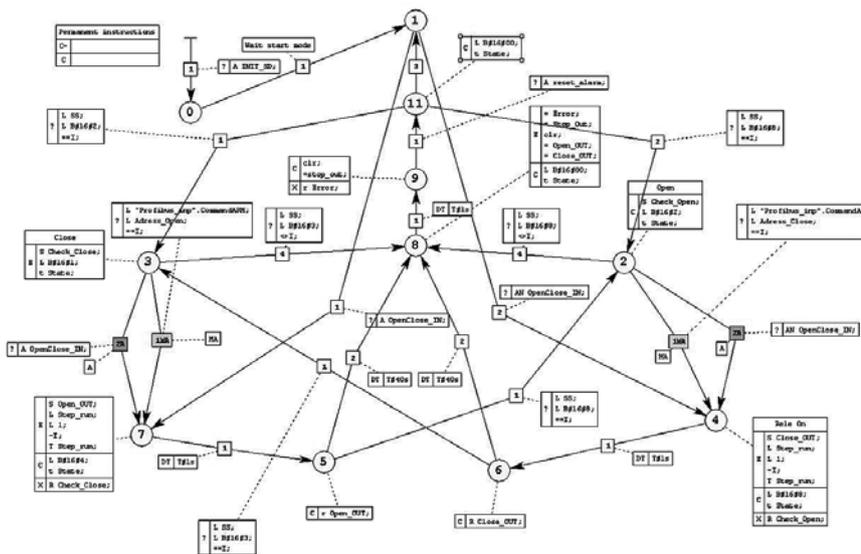


Рис. 5. Фрагмент программы АСУП в среде HiGraph

Достаточно сложным оказался процесс создания и настройки регулятора давления в конденсаторе. Дело в том, что к работе этого узла предъявляются довольно противоречивые требования. С одной стороны, он должен иметь достаточно большой проходной диаметр, чтобы не оказывать влияние на ход процесса в начальной стадии, а с другой — должен обеспечивать поддержание заданного давления в достаточно узком коридоре значений на заключительном этапе. Кроме этого, процессы, происходящие в конденсаторе технологической системы, носят ярко выраженный нелинейный характер, что также вносит соответствующие сложности в работу регулятора. Использование классического ПИД-регулятора обеспечило решение задачи по поддержанию давления, однако большое число включений привода регулирующего клапана за единицу времени поставило вопрос о поиске других решений, так как такой режим работы устройства приводил к быстрому износу механизмов. Кроме этого, сильному износу подвергался, и сам запорно-регулирующий клапан, так как он работал в режиме «открыт—закрыт», что приводило к преждевременному разрушению седла.

Первым шагом к решению этой проблемы стало моделирование теплофизических процессов, проис-

ходящих в системе «конденсатор-регулирующий клапан-насос». Математическое моделирование проводилось в среде теплофизического расчетного кода улучшенной оценки «КОРСАР» (разработка ФГУП НИТИ им. А. П. Александрова) и показало сложность процессов, происходящих при работе этого оборудования. Прежде всего, расчеты показали, что пропускная способность клапана VER соответствуют характеристикам процесса только на начальной фазе процесса. На конечных стадиях ТП необходима пропускная способность регулирующего клапана в пределах 0,01...0,1% от максимальной. Такую точность позиционирования электромеханический привод выбранного клапана VER обеспечить не в состоянии.

В создавшейся ситуации рассматривались следующие пути решения данной проблемы. Прежде всего, это замена существующего клапана на устройство с более точным приводным механизмом или использование дополнительного регулирующего клапана с маленьким проходным сечением для регулирования давления в конденсаторе на конечных стадиях процессов. Однако обзор рынка показал, что арматуры с такими характеристиками и разрешенной для использования в системах 3 класса безопасности АЭС не выпускается. Кроме того замены оборудования повлечет за собой достаточно сложную и длительную процедуру корректировки конструкторской документации, обоснования безопасности и испытаний. Поэтому был выбран второй путь, который предполагал использование существующего оборудования и оптимизацию его работы.

Математическое моделирование в среде КОРСАР показало, что возможна работа клапана VER с открытием 10...20% при уменьшении перепада давлений на нем. При таком состоянии клапана регулирование давления осуществлялась в линейной области процесса, что обеспечивало существенное сокращение число включений приводов клапана. Уменьшение перепада давления

могло быть достигнуто за счет использования электромагнитного клапана VEN для регулирования давления за клапаном VER. При этом в районе фильтров ФАРТОС должно поддерживаться давление в диапазоне 0,7...0,9 от заданного давления в конденсаторе. Для этого технологическая система потребует минимальной доработки, которая заключается в замене стрелочного манометра в районе

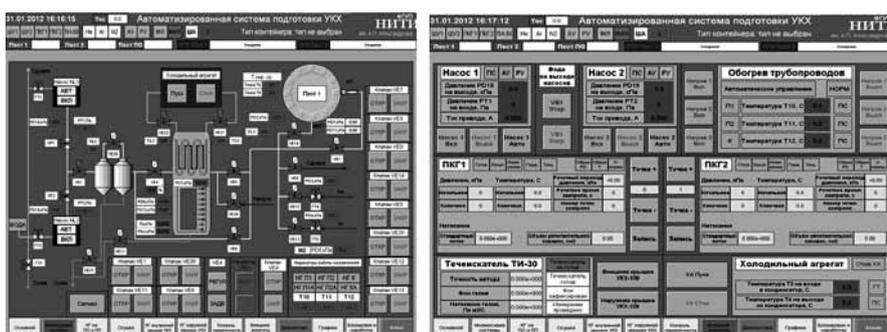


Рис. 6. Видеокадры АРМ ручного режима управления

фильтра ФАРТОС на датчик давления. Высокое быстродействие клапана VEN совместно с большим объемом корпусов фильтров позволит обеспечить достаточную точность поддержания давления за регулирующим клапаном VER. Кроме того, моделирование показало, что целесообразно понизить производительность вакуумных насосов на 25% на последней стадии процесса за счет встроенных регуляторов оборотов.

Управление регулирующими клапанами осуществлялось при помощи двух контуров регулирования. Первый контур регулирования включает клапан VER и датчик PD6. Задание для этого регулятора определяется главным алгоритмом логического управления системой. Второй контур регулирования создает условия для работы регулирующего клапана VER при положении в диапазоне 10...20% за счет поддержания необходимого перепада давления. Контур построен на основе каскадного регулятора. Ведущее звено, контролирующее положение клапана VER, вырабатывает значение уставки для ведомого звена, которое в свою очередь при помощи клапана VEN поддерживает необходимое давление в районе фильтра ФАРТОС и соответственно за клапаном VER. Переход насосов в режим пониженной производительности производится по уставке на основе показаний датчика PD6. Такая организация схемы регулирования позволила обеспечить достаточно точное поддержание давления и существенно уменьшить нагрузку на приводные механизмы в условиях существенной нестабильности параметров парогазовой среды поступающей из МБК.

Кроме описанного механизма, работа регуляторов определялась текущим режимом системы, с одной стороны, и давлением во входной магистрали по датчику PD2 – с другой. В зависимости от этого устанавливались принципы регулирования и необходимые константы. Так при высоком давлении в магистрали регулятор VER работал в режиме «после себя», а VEN находился в открытом состоянии, что обеспечивало поддержание необходимого режима работы вакуумных насосов при откачке парогазовой среды из контейнера на начальных стадиях процесса. При низком давлении оба регулятора переходили в описанный выше режим регулирования и обеспечивали необходимое давление в системе. Определение констант ПИД-регулятора первого контура выполнялось в зависимости от давления в системе. Для повышения быстродействия системы регуляторов в условиях переходных процессов применен специальный алгоритм с использованием логического управления.

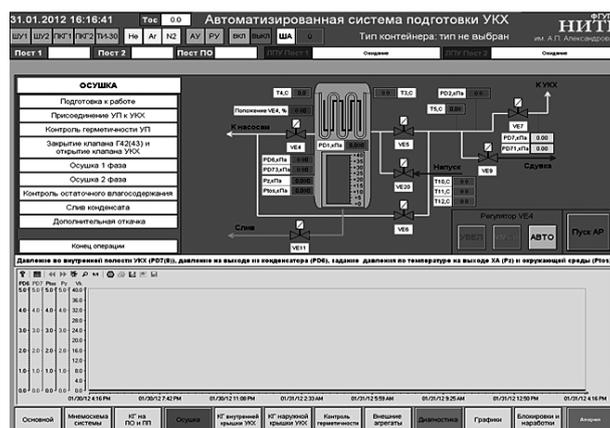


Рис. 7. Видеокادر АРМ автоматического режима (процесс удаления влаги)

Настройка системы регуляторов проводилась поэтапно. Вначале настраивался регулятор на основе клапана VEN (ведомое звено второго контура регулирования). Далее, при ручной регулировке перепада давлений настраивался первый контур регулирования, и наконец, — ведомое звено второго контура. Алгоритм регулирования разработан в среде Step7 язык STL.

При наладке основного алгоритма проводились уточнения последовательности операций, значений уставок и временных интервалов, а также согласование действий операторов и автоматизированной системы.

Управление работой АСУП осуществляет один оператор через систему видеокладов. В зависимости от режима работы используются видеоклады ручного режима (рис. 6), при помощи которых возможно управление запорной арматурой и исполнительными устройствами. В режиме автоматического управления сенсоры данных видеокладов блокируются, также в видеокладах существует система блокировки полей для исключения ошибочных действий оператора. Для управления сложными исполнительными устройствами используется видеоклад «Внешние агрегаты».

В автоматическом режиме работы оборудования управление ведется при помощи нескольких видеокладов (рис. 7), каждый из которых отображает законченную технологическую операцию, которые выполняются как элемент единого цикла. На каждом таком видеокладе приведен только тот состав оборудования, который используется в данном процессе. Для индикации текущих операций в левой стороне видеокладов введен активный список выполненных системой действий, который позволяет оператору ориентироваться в ходе длительного ТП.

В нижней части видеокладов находится панель навигации, которая обеспечивает доступ ко всем видеокладам. При помощи цветовой гаммы на данную панель выводится информация о выполнении отдельных процессов, а также об отказах и ремонтных состояниях.

Результаты внедрения

Автоматизированная система управления подготовкой была смонтирована на ЛАЭС в начале 2011 г. (рис. 8). Наладка АСУП и технологической системы проводилась с использованием имитатора контейнера из состава экспериментального стенда, так как использование МБК с ОЯТ исключалось по соображениям радиационной безопасности. Для подтверждения работоспособности системы была проведена серия экспериментов с использованием имитатора

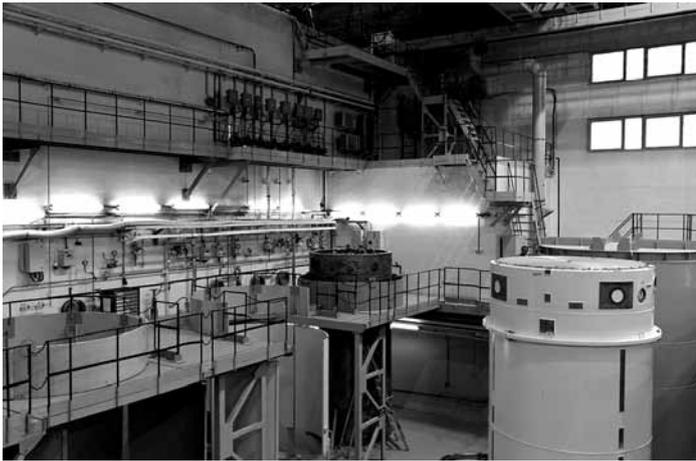


Рис. 8. Комплекс подготовки на ЛАЭС

контейнера, которые выполнялись в рамках программы приемосдаточных испытаний комплекса. Проведенные эксперименты, а также прямые замеры влажности среды подтвердили работоспособность АСУП. В январе 2012 г. был выполнен первый рабочий технологический цикл по подготовке МБК с ОЯТ к сухому хранению. В настоящее время комплекс обеспечил подготовку более 20 контейнеров.

Потапкин Максим Олегович — инженер программист, *Самусь Сергей Валерьевич* — начальник группы, *Зозуля Виктор Михайлович* — канд. техн. наук — заместитель главного конструктора ОАО «КБСМ», *Симонов Владимир Николаевич* — начальник ЦХОЯТ филиал концерна Росэнергоатом «Ленинградская АЭС».
Контактные телефоны: (81369)6-05-14, (812)633-01-28, (81369)5-37-49.
E-mail: tim@niti.ru vzo21961@foton.ru rc-svn@laes.ru

- Результаты проделанной работы:
- создание АСУП МБК с ОЯТ к сухому хранению, которая охватывает операции контроля герметичности, удаления влаги из внутренней полости и заполнения МБК инертными газами;
 - выполнение комплекса пусконаладочных работ на технологической системе подготовки и АСУП с использованием имитатора МБК с ОЯТ;
 - отработка эксплуатационных режимов подготовки МБК с ОЯТ к хранению при различном энерговыделении ядерного топлива и влажности среды в контейнере;
 - экспериментальное подтверждение работоспособности технологической системы подготовки МБК к хранению при работе под управлением АСУП;
 - подтверждение алгоритма удаления влаги из МБК контрольными (слепыми) экспериментами и с прямым измерением влажности газовой среды в МБК;
 - проведение обучения персонала с отработкой аварийных режимов;
 - сдача системы подготовки МБК в опытную эксплуатацию.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСЧЕТА СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ ЗАО «Метиз»

Л.А. Якушкина (Компания «Институт типовых решений – Производство» (ИТРП))

Представлен реальный проект внедрения комплексного решения для автоматизации планирования и учета на предприятии с дискретным типом производства. Рассматриваются требования предприятия, особенности конфигурирования программного продукта и бизнес-преимущества, полученные руководством предприятия по результатам внедрения.

Ключевые слова: автоматизации планирования и учета, дискретный тип производства, расчет себестоимости, спецификация.

Введение

ЗАО «Метиз» (г. Тутаев, Ярославская обл.) — машиностроительное предприятие дискретного типа, изготавливает оригинальную и стандартную высококачественную металлопродукцию, в том числе комплектующие и изделия для производства дизельных двигателей, а также метизную продукцию. Номенклатура выпускаемой продукции составляет несколько сотен наименований, а перечень исходных и комплектующих материалов достигает 100 тысяч. Потребителями продукции ЗАО «Метиз» являются такие гиганты дизелестроения, как моторный завод «Автодизель» (г. Ярославль) и моторный завод «ТМЗ» (г. Тутаев).

Руководство ЗАО «Метиз» поставило задачу внедрить автоматизированную систему производственного учета. Цель внедрения: контроль количества выпускаемой продукции на различных стадиях изготовления и готовой продукции на складе, а также ведение оперативного учета, анализа и контроля затрат на выпуск готовой продукции, то есть автоматизации расчета себестоимости.

Решение на платформе «1С:Предприятие 8»

Для реализации поставленных задач ИТ-службой предприятия было выбрано комплексное решение на платформе «1С:Предприятие 8» для автоматизации предприятий с дискретным типом производства,