

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕРАБОТКИ НАТРИЕВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

П.Ю. Кривцов, В.М. Павлов*

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, г. Курчатов

*Томский политехнический университет

E-mail: Krivtsov@nnc.kz

Дан общий алгоритм управления установкой по переработке натрия, определены основные функции системы и контуры регулирования технологических параметров в зависимости от текущего режима работы установки. На примере системы подачи натрия показан процесс разработки системы управления. Дано описание состава используемого программного обеспечения, приведена структура технологических экранов интерфейса оператора.

Ключевые слова:

Натриевый теплоноситель, установка по переработке натрия, система управления.

Key words:

Sodium coolant, sodium process facility, control system.

Введение

В настоящее время для решения комплекса задач, связанных с управлением сложными технологическими процессами, используются различные программные и технические средства, надежность и качество которых позволяют обеспечить требуемую безопасность объекта управления [1, 2]. Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) предусматривает расширенную функциональность системы управления, в котором помимо традиционных функций (системы измерения, дистанционного управления арматурой и исполнительными механизмами, технологическими защитами, автоматическим регулированием) решаются задачи автоматизированного логического функционально-группового управления технологическим объектом и информационно-вычислительные функции, оказывающие помощь обслуживающему персоналу в управлении технологическим процессом. Так, представленная в работе АСУ ТП установки по переработке натриевого теплоносителя (УПН) реактора БН-350, расположенного в г. Актау, позволяет обеспечить решение поставленных задач управления взрыво- и пожароопасным технологическим процессом.

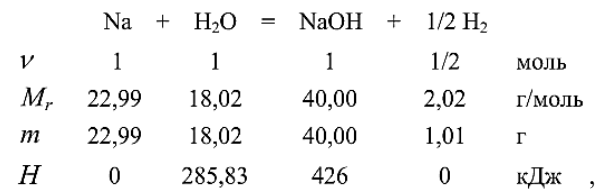
Математическое описание химического процесса, технологии переработки натрия, методы реализации математической модели процесса и синтеза имитационного комплекса УПН представлены в работах [3, 4]. Завершающим этапом работ по созданию системы управления технологическим процессом на УПН является практическая реализация теоретических изысканий, представленных в указанных публикациях.

Объект автоматизации

Принцип работы установки по переработке натрия заключается в осуществлении реакции натрия с водой в концентрированном растворе гидроксида в химическом реакторе [5]. Для получе-

ния раствора заданной концентрации необходимо осуществлять подачу натрия и воды в строго определенных количествах.

При взаимодействии натрия с водой выделяется большой объем водорода и высвобождается значительное количество тепловой энергии. Избыток тепла отводится за счет испарения воды, таким образом, температура в химическом реакторе поддерживается на уровне температуры кипения раствора при заданной концентрации. Уравнение реакции записывается следующим образом:



где ν – количество молей вещества; M_r – молярная масса; m – масса; H – энтальпия образования.

Под объектом автоматизации понимается технологическая часть УПН, к которой относятся элементы и конструкции основного и вспомогательного технологического оборудования установки, непосредственно или косвенно задействованного в реализации процесса переработки натрия. В соответствии с технологией переработки натрия, структура технологической части УПН как объекта автоматизации имеет вид, представленный на рис. 1.

Разделение УПН на технологические системы (подсистемы) по функциональному признаку носит относительный и условный характер и выполнено с целью упрощения описания функций автоматизации и контроля технологического процесса переработки натрия.

Основными технологическими параметрами, подлежащими измерению и управлению, являются:

- температура элементов и конструкций УПН;
- давление в емкостях и трубопроводах технологических систем УПН;

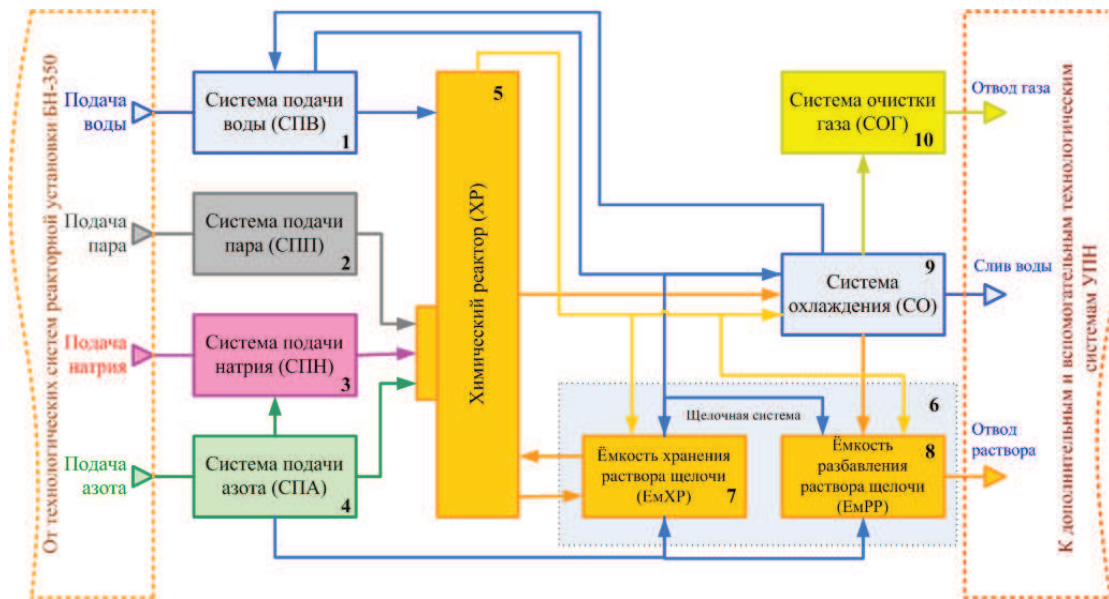


Рис. 1. Структура технологической части УПН

- расход натрия/щелочи/воды;
- уровень натрия/щелочи/воды в емкости;
- концентрация щелочи.

Основным назначением АСУ ТП УПН является реализация режимов работы объекта автоматизации в соответствии с выбранной технологией переработки. На этапе анализа объекта управления и исследования технологии переработки определен общий алгоритм управления технологическим процессом, представленный на рис. 2.

Разработка системы управления

Рассмотрим процесс разработки системы управления на примере системы подачи натрия (СПН), функционально-технологическая схема которой представлена на рис. 3. Для СПН можно выделить следующие контуры управления:

- потоком натрия (СРБ1, СРБ2, форсунка 1, форсунка 2);
- температурой конструкций СПН (СРБ1, СРБ2, трубопровод).

В различных технологических режимах работы УПН в составе АСУ ТП можно выделить два локальных контура управления потоком натрия. Первый обеспечивает управление заполнением суточных расходных баков (СРБ) натрием от БН-350, второй регулирует количество натрия, подаваемого в химический реактор (ХР).

Управление подачей натрия в СРБ осуществляется запорными электроприводными вентилями SVE-Na01 и SVE-Na02, контроль расхода выполняется по показаниям расходомера FE-Na01.

Из суточных расходных баков натрий подается к форсункам химического реактора. Для управления подачей натрия в форсунки используется ряд запорных вентилях и регулирующие вентили CV-Na01 и CV-Na02. Мгновенный расход натрия оценивается по показаниям расходомеров FE-Na02 и FE-Na03,

величина потока определяется проходным сечением регулирующего вентиля и давлением в СРБ.

На всех этапах работы установки системе управления необходимо обеспечить разогрев и поддержание рабочей температуры технологического оборудования, входящего в состав СПН. В СПН можно выделить два объекта нагрева: трубопровод и СРБ, при этом технологический регламент УПН предъявляет к системе управления нагревом следующие требования:

- разогрев трубопроводов и оборудования с натрием вести последовательным включением тепловых зон от свободного объема;
- разогрев основных трубопроводов, СРБ вести со скоростью $10\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ с выдержкой 4 ч через каждые $50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- допустимый перепад температур между соседними тепловыми зонами трубопроводов, заполненных натрием, должен быть не более $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- разогрев СРБ вести от газовой «подушки» со скоростью $10\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ с выдержкой 4 ч через каждые $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Конструктивно трубопроводы СПН представляют собой обогреваемые, теплоизолированные магистрали, выполненные из труб с диаметром условного прохода 25 мм и толщиной стенки 2,5 мм. Для обеспечения равномерного разогрева трубопровод СПН разделен на 20 тепловых зон, каждая из которых оборудована кабельными нагревателями, тиристорным регулятором мощности и датчиком температуры (термосопротивлением).

Суточный расходный бак представляет собой цилиндрическую герметичную емкость, оборудованную тридцати восьмью пластинчатыми нагревателями, расположенными на поверхности обечайки. Нагреватели СРБ сгруппированы в шести тепловых зонах с независимыми контурами управления.

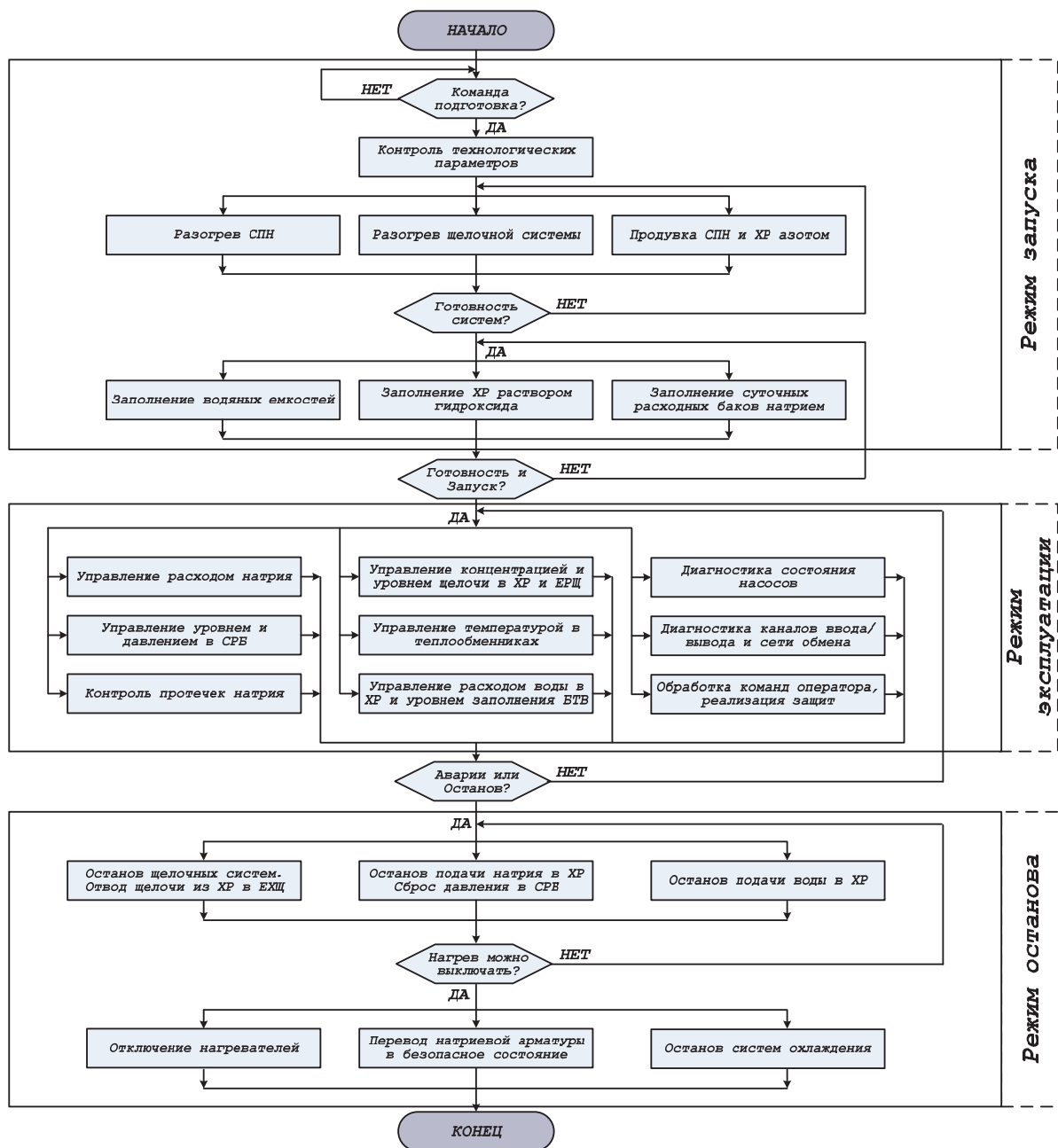


Рис. 2. Общий алгоритм управления технологическим процессом

Структурная схема контура регулирования температуры в отдельной тепловой зоне СПН приведена на рис. 4.

Она состоит из сумматора 1; регулятора температуры (РТ) 2; регулятора напряжения/мощности (РМ) 3, обеспечивающего согласование регулятора температуры и нагревателя; нагревательного элемента/нагревателя (НЭ) 4; датчика температуры (ДТ) 5 и объекта нагрева 6, под которым понимается любая часть или элемент технологического оборудования, где поддерживается требуемый температурный режим.

На основе анализа функционально-технологической схемы СПН, с учетом особенностей испол-

нительных элементов и средств измерений, определено, что информационная емкость системы управления должна обеспечивать обработку пятидесяти девяти аналоговых сигналов (датчики температуры, расхода, положения регулирующих вентилях) и тридцати трех дискретных сигналов (датчики уровня, протечек, положения запорных вентилях). При этом необходимо обеспечить формирование тридцати четырех аналоговых сигналов управления (регуляторы мощности и регулирующие вентилях) и четырнадцати дискретных сигналов управления запорной арматурой.

Необходимо отметить, что на этапе выбора средств измерений и исполнительных элементов

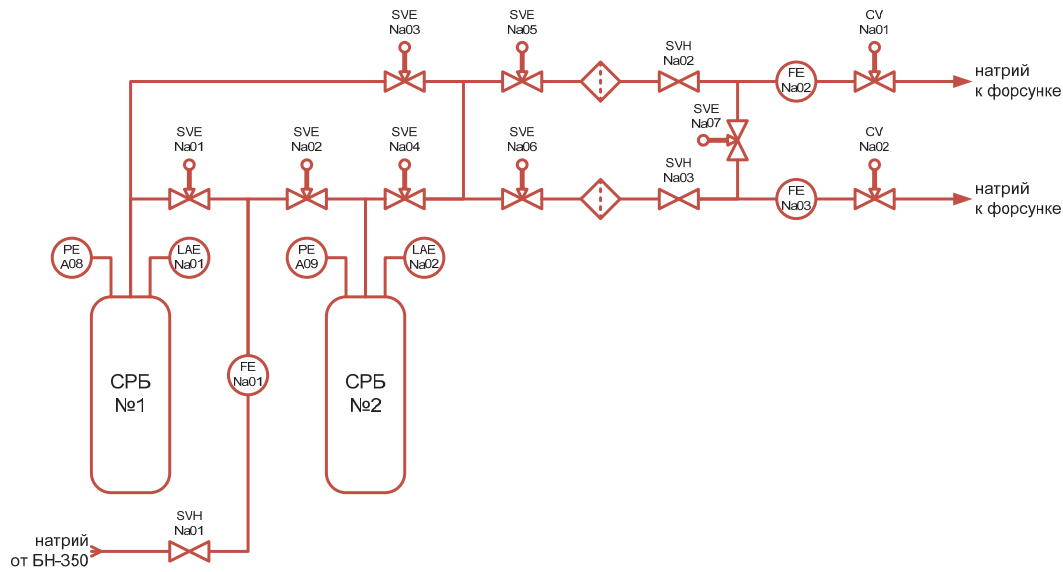


Рис. 3. Функциональная технологическая схема системы подачи натрия: CV – вентиль регулирующий, SVE – вентиль запорный с электроприводом, SVH – вентиль запорный ручной, FE – расходомер, PE – датчик давления, LE – дискретный датчик уровня

было принято решение использовать для аналоговых сигналов интерфейс «токовая петля» 4–20 мА, а для дискретных сигналов – 0...24 В.

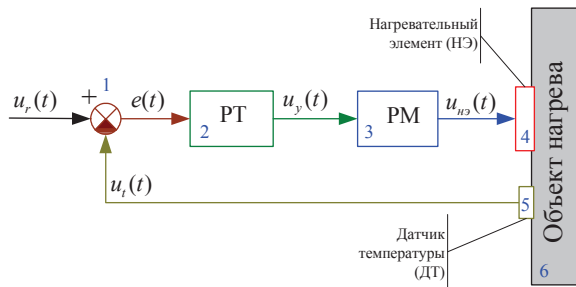


Рис. 4. Структурная схема контура регулирования температуры: $u_r(t)$ – значение сигнала уставки (задания), $e(t)$ – значение ошибки (величина рассогласования), $u_y(t)$ – сигнал управления, $u_{нэ}(t)$ – напряжение на нагревательном элементе, $u_t(t)$ – сигнал с датчика температуры

Сводные данные по средствам измерения и исполнительным элементам управления УПН представлены в табл. 1.

Таблица. Средства измерения и исполнительные элементы УПН

Подсистема	Средства измерения						Исполнительные элементы				
	TE	PE	FE	LAE	LE	NE	SVE	SVH	CV	CP	PCR
Натрий	54	–	3	–	2	7	7	3	2	–	32
Щелочь	24	4	2	–	2	3	10	7	3	4	19
Вода	1	6	7	3	–	–	4	12	7	4	–
Азот	4	21	9	–	–	–	4	–	5	–	4
Отход. газ	8	–	1	–	–	–	2	–	–	–	6
Пар	2	–	–	–	–	–	–	2	–	–	2

TE – датчик температуры, LAE – аналоговый датчик уровня, NE – датчик протечек, CP – насос, PCR – тиристорный регулятор мощности.

Таким образом, общая информационная емкость контроллера сбора данных и управления должна обеспечивать ввод ста шестидесяти шести аналоговых и ста тридцати семи дискретных сигналов и формирование восьмидесяти аналоговых и семидесяти дискретных сигналов управления.

По результатам анализа характеристик технических средств, представленных на казахстанском рынке средств автоматизации, а также изучения технико-коммерческих предложений поставщиков оборудования было определено, что большинство предлагаемых решений удовлетворяют основным требованиям, позволяя создать относительно равные по потребительским свойствам АСУ ТП. Наиболее рациональным вариантом решения поставленной задачи, ввиду лучшего соотношения цена/качество, явилась платформа ControlLogix производства компании Allen-Bradley.

Программный комплекс системы управления

Для решения комплекса поставленных задач была определена структурная схема прикладного программного обеспечения АСУ ТП УПН, представленная на рис. 5.

В состав комплекса программных средств системы управления УПН входят:

- RSView32 – SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) система, выполняющая функции представления информации о ходе технологического процесса, организации диалога с оператором установки, звуковой и световой сигнализации, первичной регистрации данных;
- RSLogix 5000 – программный пакет, в котором осуществляется программирование, отладка и редактирование программ контроллера сбора данных и управления;

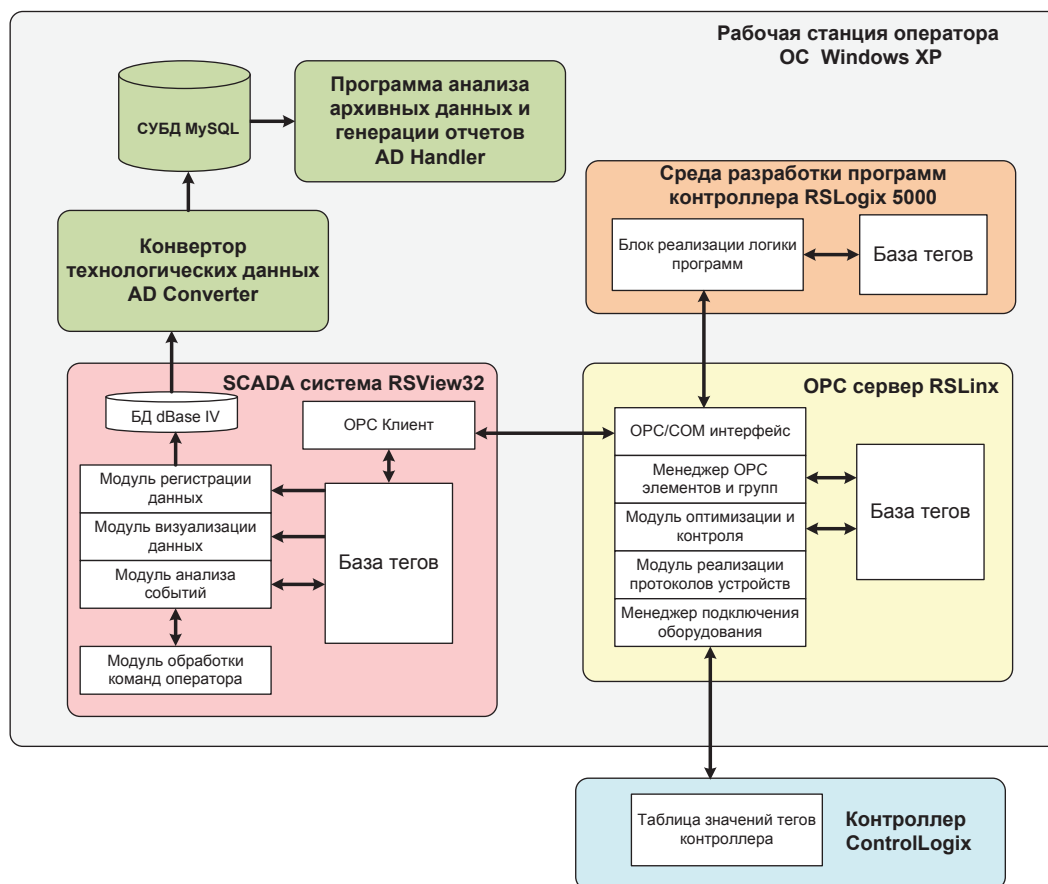


Рис. 5. Структурная схема программного обеспечения АСУ ТП УПН

- RSLinx – OPC (OLE for Process Control) сервер, выполняющий функции организации взаимодействия программных компонентов по сети ControlNet;
- AD Converter – прикладная программа, выполняющая преобразование первичных данных из формата dBase IV в СУБД MySQL для длительного хранения;
- MySQL – СУБД (Система Управления Базами Данных), выполняющая функции основного хранилища истории изменения технологических параметров, тревожных событий и сообщений системы за все время работы УПН;
- AD Handler – прикладная программа, обеспечивающая доступ к архивным данным из MySQL, позволяющая выполнять просмотр и экспорт данных за требуемый временной интервал в текстовые файлы и файлы электронных таблиц Excel.

Графический интерфейс системы управления

Графический интерфейс сводится к системе видеокладов, текстовых и звуковых сообщений, снабженных необходимыми подсказками и помощью, при организации диалога оперативного персонала установки с программно-техническими средствами АСУ ТП.

Соблюдены следующие принципы компоновки мнемосхем:

- мнемосхемы упорядочиваются по слоям;
- слои отличаются друг от друга степенью детализации информации;
- чем выше слой, тем выше уровень обобщения представления информации на мнемосхемах этого слоя.

На рис. 6 приведена структура технологических экранов УПН.

Мнемосхемы разделены на следующие группы:

- технологических линий. Позволяют обеспечить контроль за технологическим процессом в реальном времени;
- управления. Реализуют взаимодействие оператора с исполнительным технологическим оборудованием, при этом обеспечивая отображение состояния контуров управления;
- просмотра архивов. Предоставляют средства просмотра архивных данных для событий системы и тревожных сообщений, позволяют получить отчет в электронном виде и твердой копии;
- контроля за оборудованием. Обеспечивают наглядное представление информации о неисправностях модулей ввода/вывода АСУ ТП УПН и оборудования электроснабжения установки.

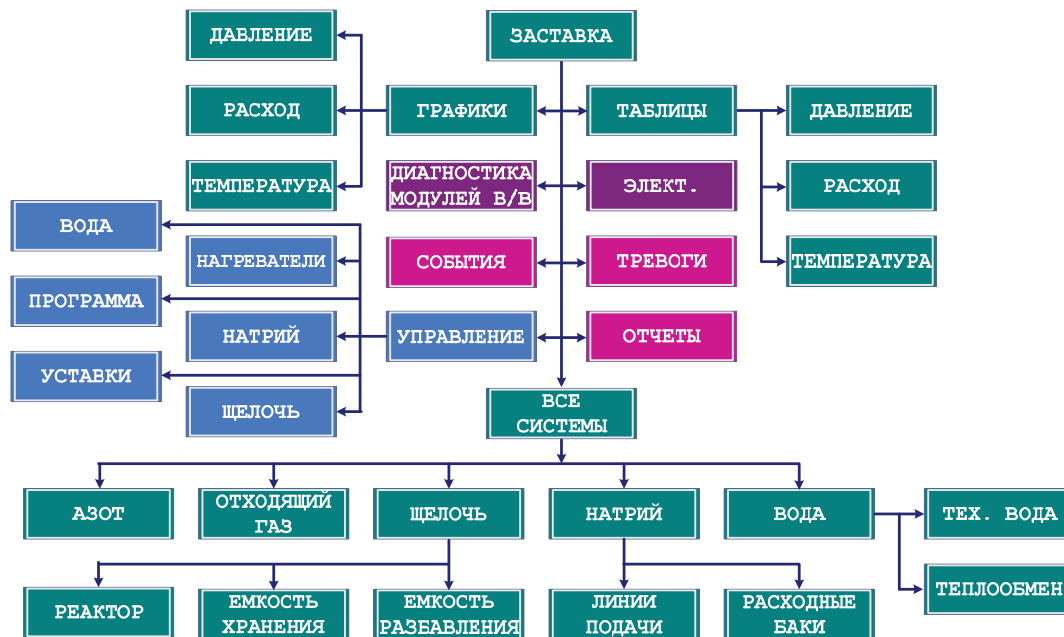


Рис. 6. Структура экранов проекта

Заключение

АСУ ТП УПН представляет собой комплекс технических и программных средств, обеспечивающих реализацию заданного набора функций, направленных на достижение конечного результата: обеспечение качественного и безопасного управления технологическим процессом переработки натрия. Разработка системы выполнена на основе анализа общего алгоритма управления и функционально-технологических схем различных подсистем УПН.

Окончательным подтверждением результатов проектирования любой разработки, и в частности АСУ ТП УПН, являются натурные испытания, ко-

торые дают ответ о качестве разработки и целесообразности ее дальнейшего использования. Так, пусконаладочные работы АСУ ТП УПН на объекте подтвердили соответствие характеристик разработанной конфигурации программно-технических средств системы управления как функциональным и техническим требованиям, так и требованиям эргономики и технической эстетики.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0457 «Разработка высокопроизводительного модульного приборного комплекса для автоматизированных систем экспериментальных исследований и управления электрофизическими установками ядерной энергетики».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорф Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
2. Абдулов Н.Д. Теория и методы проектирования оптимальных регуляторов. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 324 с.
3. Кривцов П.Ю., Павлов В.М. Разработка модели химического реактора установки по переработки натриевого теплоносителя // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 3. – С. 41–46.

4. Кривцов П.Ю., Павлов В.М. Использование имитационного комплекса для отладки системы управления процессом переработки натрия // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 5. – С. 105–110.
5. Garcia H.E. Modeling and Control of a Sodium Conversion Process Applied to Nuclear Decommissioning Activities // Nuclear Technology. – 1998. – V. 123. – № 8. – P. 54–60.

Поступила 23.11.2013 г.