

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА БАРС-5М

М. Ю. Эверт, А. В. Луценко, Ю. В. Осеев, С. Ю. Касьянов, С. А. Андреев

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е. И. Забабахина», г. Снежинск Челябинской обл.

Статья поступила в редакцию 14.06.2019, после доработки – 09.08.2019, принята к публикации – 04.10.2019

Описываются технические решения, применяемые для модернизации системы управления и защиты реактора БАРС-5М. Даны структурная схема СУЗ, описание ее устройства и принципа действия.

Ключевые слова: модернизация системы управления и защиты, импульсный реактор, структурная схема СУЗ.

RECONSTRUCTION OF CONTROL AND PROTECTION SYSTEM FOR PULSED REACTOR BARS-5M / M. Yu. EVERT, A. V. LUTSENKO, Yu. V. OSEYEV, S. Yu. KASYANOV, S. A. ANDREYEV // The description of technical solutions used for modernization of the reactor control and protection system is given. The report shows the block diagram, description of its design and operating principle.

Key words: modernization of the reactor control and protection system, pulsed reactor, block diagram.

Введение

Двухзонный импульсный реактор с металлическими активными зонами начал создаваться в РФЯЦ-ВНИИТФ в начале 1970-х годов. Одновременно изготавливались два одинаковых реактора, основной и макет. Основной вариант реактора получил название БАРС-4 и в 1980 году был введен в эксплуатацию во ВНИИ приборов (ныне ФГУП «НИИП», г. Лыткарино). После отработки режимов работы БАРС-4 на макете были изготовлены новые механизмы регулирования реактивности, а доработанный макет, получив название БАРС-5, был введен в эксплуатацию РФЯЦ-ВНИИТФ в 1986 году и эксплуатируется до настоящего времени.

В 1995 году состоялся физический пуск реактора БАРС-6 в ФЭИ (г. Обнинск), который был изготовлен в ФЭИ по переданной из РФЯЦ-ВНИИТФ конструкторской доку-

ментации и фактически является копией реактора БАРС-5.

В начале 2010-х годов начаты работы по модернизации системы управления и защиты (СУЗ) импульсного реактора БАРС-5. Необходимость модернизации связана, в первую очередь, с техническим устареванием элементов и приборов действовавшей СУЗ. За время эксплуатации (с 1986 года) СУЗ реактора БАРС-5 показала высокую надежность в части осуществления функций защиты и функций контроля и управления. Однако эта надежность, по большей части, обеспечивалась применением жесткой релейной логики, реализовывать которую в настоящее время нецелесообразно. Кроме того, реактор БАРС-5 имеет две активные зоны, десять независимых органов регулирования реактивности (ОРР), и является, пожалуй, самым сложным, с точки зрения организации управления, импульсным реактором.

В результате, оставлены без изменений либо частично усовершенствованы узлы и блоки СУЗ, показавшие высокую надежность в процессе предыдущей эксплуатации, а все функции управления, контроля и дублирующие функции защиты помещены в программы программируемых логических контроллеров (ПЛК). Функции защиты размещены в независимых друг от друга и от системы управления вновь разработанных блоках, являющихся системами безопасности.

В ходе модернизации СУЗ БАРС-5 было принято решение о переименовании его в БАРС-5М.

1. Концептуальные решения, принятые при модернизации

Целью модернизации СУЗ реактора БАРС-5М являлось повышение уровня ядерной и радиационной безопасности при проведении работ на реакторе.

В качестве системного решения организации СУЗ принята система технологического управления на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) Siemens S7-400, обладающая повышенной надежностью (подобные системы более 20 лет используются на кораблях и железнодорожных составах) и набором широких возможностей по производительности и сопряжению с аппаратурой. Кроме того, данный выбор обусловлен совокупностью следующих факторов:

- возможности резервирования функций управления, контроля и защиты;
- возможности реализации как централизованного, так и распределенного подключения источников сигналов (информации);
- отсутствия необходимости адаптации систем низкого (приводы) и высокого (ПЛК) уровней за счет применения приводной техники Siemens;
- наличия систем автоматизированного проектирования логики работы ПЛК и интерфейса оператора;
- высокого быстродействия;

– повышенной электромагнитной защищенности;

– автоматической диагностики внутренних и внешних неисправностей;

– упрощенной системы поиска неисправностей.

В рамках выбранной концепции выработан ряд технических решений, направленных на достижение основной цели модернизации, а также на повышение надежности, помехоустойчивости, на упрощение процессов управления и определения неисправностей, расширение информационного обеспечения оператора о состоянии установки и вспомогательных технологических систем.

Для повышения надежности и помехоустойчивости аппаратура управления и контроля размещается в максимально допустимой близости к реакторному залу (рис. 1). Связь с пультовой обеспечивается волоконно-оптической линией связи. Работоспособность линии постоянно контролируется, и в случае перебоев реактор переводится в подкритическое состояние.

Развитая схема обратных связей с возможностями самодиагностики и фиксации событий, происходящих в системе, упрощает процесс определения неисправностей и сбоев, чем достигается снижение дозовых нагрузок на персонал.

Защита выполнена в двухканальном виде. По схемотехническому построению каналы принципиально отличаются друг от друга, что снижает вероятность возникновения сбоя работы защиты.

Для повышения надежности и воспроизводимости работы механизма управления реактивностью (МУР) вместо пружинного узла применен электромагнитный. Это позволяет сократить продолжительность подготовки к генерированию импульса делений и снизить дозовые нагрузки на персонал.

На пульте управления использованы графические средства индикации (панельные компьютеры). Это ускоряет и упрощает процедуру определения стартового состояния, калибровку ОРР по реактивности.

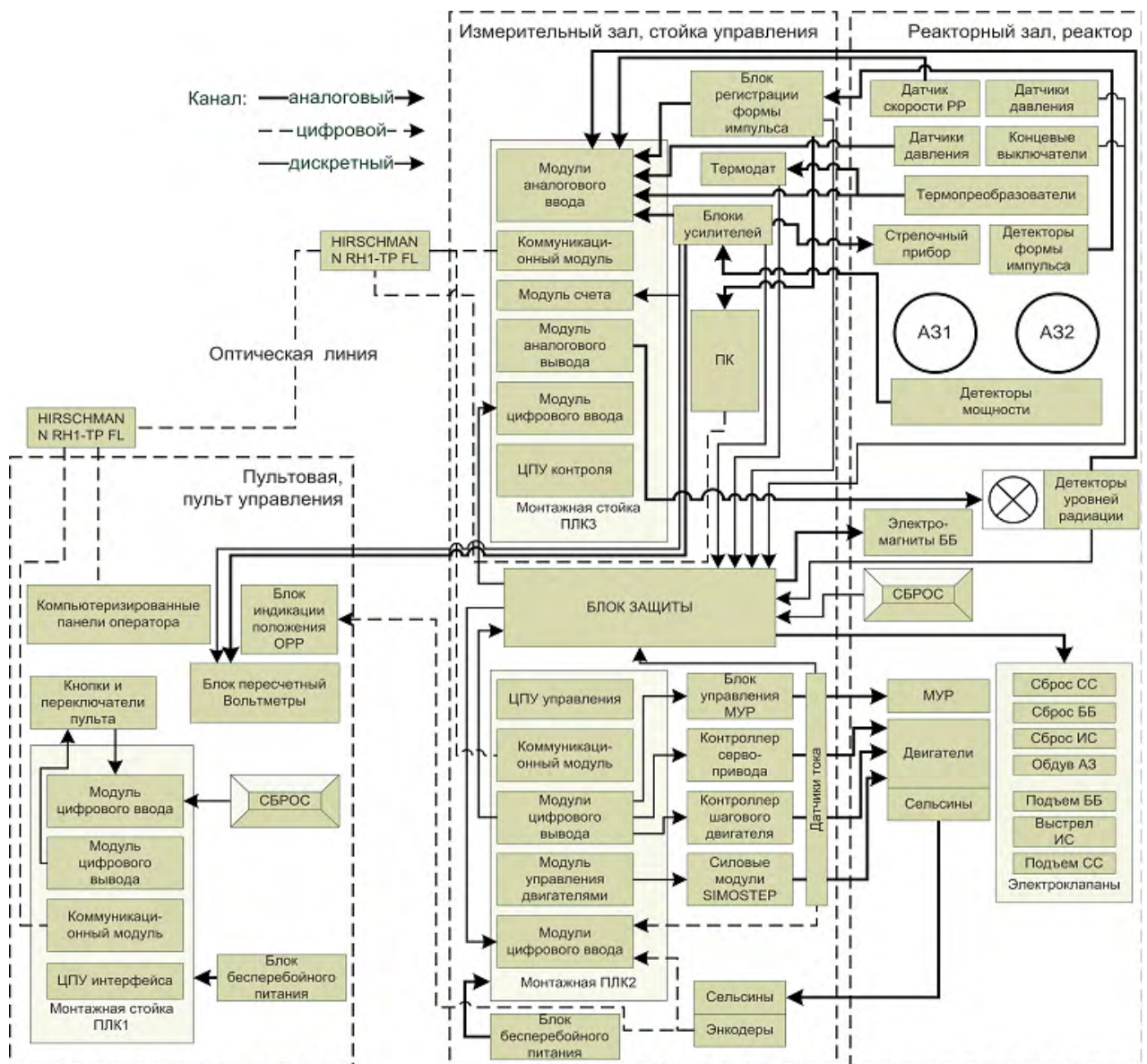


Рис. 1 Структурная схема СУЗ реактора БАРС-5М

2. Состав и функционирование СУЗ

Функционально СУЗ реактора БАРС-5М делится на три системы: систему управления, систему контроля и систему защиты (рис. 1). Центральные процессорные устройства (ЦПУ) указанных систем реализуют логику работы программ, в которых заключены функции управления, контроля и дублирующие функции защиты. По указанным программам ЦПУ организуют работу функциональных модулей, входящих в ПЛК.

Система управления. Система управления (ПЛК1, ПЛК2) предназначена для управ-

ления двигателями, электромагнитами, электропневмоклапанами, а также для обработки информации, поступающей от конечных выключателей, пороговых датчиков давления, датчиков тока и энкодеров.

ЦПУ управления (ПЛК2) получает команды от ЦПУ интерфейса (ПЛК1) пульта управления по последовательному каналу с использованием оптоволоконных линий связи.

Дополнительно система управления получает команды от системы защиты с целью протоколирования хода работы и облегчения поиска причин сброса, если это событие происходит.

Любое изменение, фиксируемое системой управления (поступление команды, срабатывание концевого выключателя и т. п.), приводит к формированию сообщения для «черного ящика», реализованного на базе одного из панельных компьютеров, расположенных в пульте управления. Эта информация может также отображаться и на экранах панельных компьютеров.

Информация о положениях ОРР, получаемая с сельсинов и энкодеров, обрабатывается системой управления, а также передается по отдельному каналу на блок индикации положения ОРР на пульте управления (рис. 1).

Система контроля. В системе контроля датчики подключаются либо непосредственно к модулям регистрации, входящим в ПЛКЗ, если они совместимы по уровням сигналов, либо через промежуточные регистрирующие электронные блоки (рис. 1).

Регистрация формы нейтронного импульса проводится по отдельному каналу в силу специфичности сигналов с датчиков (в номенклатуре модулей фирмы Siemens нет АЦП с требуемым быстродействием). Используется блок собственной разработки – широкодиапазонный конвертор тока. При совместной работе с шестнадцатиразрядным АЦП ADM818x800 обеспечивается диапазон регистрации не менее шести порядков при погрешности менее 10 %.

Блок усилителей – двухканальный блок, обеспечивающий регистрацию сигналов с камер деления типа КНК15-1. Включает в себя источники питания (+300 В, -180 В) со схемами контроля наличия напряжений; усилители-дискриминаторы, обеспечивающие работу камер деления в счетном режиме; конверторы ток-напряжение, обеспечивающие работу камер деления в токовом режиме; усилители для стрелочных приборов, расположенных около реактора, показывающих уровень нейтронного выхода из активных зон. Каналы полностью независимы друг от друга.

Контроль температуры активных зон и давления в пневмосистеме осуществляется посредством аналоговых измерений.

Информация, полученная в результате измерений, передается по высокоскоростному каналу связи на панельные компьютеры в пуль-

товую, где в графическом и цифровом виде отображается на экранах и записывается в «черный ящик». Часть информации с регистрирующих блоков системы контроля также поступает в блок защиты для формирования сигналов блокировок (разблокировок).

В целях дублирования каналов измерения мощности в пультовое помещение по кабельным линиям поступают выходные напряжения и счетные импульсы с блоков усилителей на вольтметры и пересчетные приборы.

Блок пересчетный – пересчетный прибор, обеспечивающий измерения скорости счета импульсов, поступающих от блоков усилителей, и отображающий полученную информацию на пульте управления.

Система защиты. Обработка информации в системе защиты происходит в двух независимых каналах. Один канал – блок защиты, второй образован модулями Siemens, реализующими логику программ системы управления. Каналы работают независимо друг от друга. Исполнительными элементами каналов являются электромагнитные реле, контакты которых включены в разрыв цепей питания электромагнитов и электропневмоклапанов. Контакты всех реле, заведенных в цепи питания электромагнитов и клапанов сброса, замыкающие, поэтому система выполняет свои защитные функции как при наличии питания в цепях СУЗ, так и при его отсутствии. Физически реле располагаются в блоке защиты.

Блок защиты обрабатывает следующие сигналы:

- с блоков измерения мощности со схем контроля наличия напряжений на детекторах;
- с детекторов уровней радиации;
- с блока регистрации формы импульса, дублирующие сигналы с детекторов уровней радиации;
- с кнопок сброса;
- с концевых выключателей;

Все эти сигналы, за исключением сигналов с детекторов уровней радиации, имеют два логических состояния, «1» и «0». В случае несоответствия какого-либо из этих сигналов допустимым блок защиты отключает питание электромагнитов и электропневмоклапанов, что переводит реактор в подкритическое со-

стояние либо не позволяет перевести его в надкритическое состояние.

В блок защиты функционально входит реле аварийной остановки двигателей, управление которым производится непосредственно из пультовой. Необходимость такой функции обуславливается теоретической возможностью сбоя в программе управления двигателями.

Второй канал системы защиты, работа которого основана на применении модулей Siemens и специального программного обеспечения, также использует вышеперечисленные сигналы, но имеет по сравнению блоком защиты большие возможности.

Помимо осуществления функции сброса при выходе контролируемых параметров за пределы допустимого, второй канал проводит анализ действий оператора на предмет выполнения разрешенных операций. Также этот канал проводит тестирование детекторов уровня радиации и контроль питающих напряжений на них.

3. Конструкция составных частей

Конструктивно СУЗ разделена на три части (рис. 1). Первая часть размещается в реакторном зале и содержит детекторы излучения и исполнительные механизмы. Вторая часть расположена в смежном с реакторным залом измерительном зале и содержит регистрирующую аппаратуру, аппаратуру управления двигателями и клапанами и элементы системы защиты, размещенные в стойке управления. Третья часть содержит органы управления и отображения информации, размещенные в пультах управления, и расположена в пультовом помещении на удалении от реакторного зала около 400 м. Между пультовым помещением и измерительным залом проложен оптический кабель, служащий для передачи данных и команд. Дополнительно проложены несколько проводных линий для дублирования измерительных каналов мощности и аварийного сброса, а также оптический кабель отдельного канала индикации положения ОРР.

Конструкции пульта управления, приборной стойки разработаны с применением со-

временной конструктивной базы на основе комплекта деталей и узлов фирмы Rittal, шкафа Altis фирмы Legrand, модулей Siemens и описанных выше блоков собственной разработки.

Оборудование исполнительной части в результате модернизации усовершенствовано частично: с использованием монтажных комплектов была произведена замена устаревших двигателей, электропневмоклапанов на «новые», заменен МУР.

В качестве приводного элемента в «новом» МУР применен втягивающий электромагнит. Якорь электромагнита связан с импульсным регулятором реактивности (РР). Электромагнит получает энергию от батареи заряженных конденсаторов, подключаемой к обмоткам магнита при «выстреле». Калибровка РР и перевод его в стартовую точку перед выстрелом производится с помощью шагового двигателя с винтовым механизмом. Для измерения скорости движения РР специально был разработан датчик потенциометрического типа. Рабочий диапазон скоростей РР – от 1,0 до 6,5 м/с.

В пневмосистеме низкого давления (система охлаждения) применен винтовой компрессор типа ДЭН-30Ш (30 кВт), в системе высокого давления (для приводов ОРР) – компрессор ВШВ-1.1/150 (22 кВт), электропневматические клапаны Burket разных типов.

4. Программное обеспечение СУЗ

Программное обеспечение (ПО) СУЗ делится на ПО контроллеров и ПО системы цифровой индикации и сигнализации (СЦИС). Программы контроллеров представляют собой программы пользователя, разработанные с помощью стандартного программного обеспечения, используемого для конфигурирования и программирования ПЛК SIMATIC. Пользовательские программы контроллеров разработаны на языке LAD (Ladder Diagram – язык релейно-контактных символов). ПО СЦИС разработано в среде разработки WinCC flexible, представляющей собой программное обеспечение машинного интерфейса (HMI)

для реализации автоматизации технологических процессов с возможностью длительного использования в режиме реального времени.

Для отображения логики контролируемых и управляемых процессов используются мнемосхемы, выводимые на экраны компьютеризированных панелей оператора.

5. Ход выполнения работ по модернизации СУЗ, исполнители работ

В ноябре 2013 года эксплуатация реактора БАРС-5 в рабочих режимах была остановлена, топливо выгружено в хранилища, начат демонтаж «старой» и монтаж «новой» СУЗ. Эти работы по времени совмещены с реконструкцией здания размещения ИЯУ БАРС-5М: в ходе работ практически полностью демонтирована СУЗ реактора, заменены системы пневмоснабжения, электропитания, вентиляции, канализации, связи, охраны и управления доступом, реконструирован комплекс санитарно-бытовых помещений. В начале 2018 года

ИЯУ БАРС-5М была принята в опытную эксплуатацию в стационарном режиме работы, а в конце 2018 года – в постоянную эксплуатацию в стационарном режиме работы. Также на 2019 год запланировано завершение работ по вводу ИЯУ БАРС-5М в эксплуатацию в импульсном режиме.

Список литературы

1. Леваков Б. Г., Лукин А. В., Магда Э. П., Погребов И. С., Снопков А. А., Терехин В. А. Импульсные ядерные реакторы РФЯЦ-ВНИИТФ / Под ред. А. В. Лукина. – Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2002.

Контактная информация –

Эверт Михаил Юрьевич,
e-mail: dep5@expd.vniitf.ru

Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2019, вып. 4, с. 120–125.