

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СУЗ РЕАКТОРА ЯГУАР. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

UPGRADED CONTROL AND PROTECTION SYSTEM OF YAGUAR REACTOR

О. А. Мингазов, В. В. Захаров, А. В. Милибеев

O. A. Mingazov, V. V. Zakharov, A. V. Milibeev

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е. И. Забабахина»

Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russian E. I. Zababakhin
Research Institute of Technical Physics*Описана модернизированная система управления и защиты реактора ЯГУАР. Сделан анализ опыта ввода в эксплуатацию и эксплуатации модернизированной СУЗ реактора ЯГУАР.**The upgraded control and protection system of YAGUAR reactor is described. The experience of putting into operation and using the upgraded control and protection system of YAGUAR reactor is analyzed.*

Введение

Исследовательский реактор является ядерно-опасным объектом. СУЗ реактора ЯГУАР – это технически сложная система, обеспечивающая безопасную работу реактора. Реактор ЯГУАР введен в эксплуатацию в августе 2014 г. после модернизации СУЗ. Спустя год можно подвести первые итоги эксплуатации.

Краткое описание и состав СУЗ

Система управления и защиты ядерного реактора – это совокупность средств технического, программного и информационного обеспечения, предназначенных для обеспечения безопасного протекания цепной реакции. СУЗ является неотъемлемой и специфичной частью реактора.

Основной частью автоматизированной СУЗ является управляющий информационно-вычислительный комплекс, созданный с использованием двух промышленных компьютеров (ведущего и ведомого) и 4 программируемых логических контроллеров, объединенных в техническую сеть (рис. 1). Компьютер в промышленном исполнении – это РС-совместимая станция сбора данных Н-2000 производства фирмы «Л-КАРД», сертифицированная как средство измерения по типу.

В состав ведущего компьютера входят: модуль цифрового ввода-вывода Н-43 (4 порта), Ethernet-адаптер и сетевой модем (100 Мбит/с), два монитора для отображения информации, принтер и источник бесперебойного питания.

В состав ведомого компьютера входят: АЦП Н-11 (14 разрядов, 400кГц) АЦП Н-11, модуль гальванически изолированного цифрового ввода Н-41 – 4 шт., модуль цифрового ввода-вывода Н-43 – 2 шт., модуль АЦП мезонинный Н-27 для ввода медленноизменяющихся сигналов, Ethernet-адаптер и сетевой модем (2 Мбит/с), плата последовательного интерфейса RS-485, монитор для отображения информации и источник бесперебойного питания.

Два идентичных блока аварийной защиты состоят из автономных контроллеров

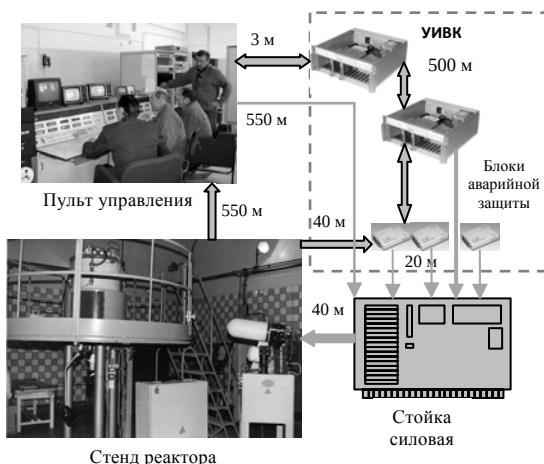


Рис. 1. Структура СУЗ реактора ЯГУАР

Е-270 с мезонинным модулем ввода токового сигнала и модуля счетчика-таймера, которые через последовательный интерфейс RS-485 обмениваются информацией с управляющим компьютером.

Анализ отказов и их причин

Отказы оборудования СУЗ, произошедшие в процессе разработки и эксплуатации с 2006 г. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Отказы оборудования СУЗ реактора ЯГУАР

Наименование	Тип	Год выпуска	Год отказа	Примечание
Преобразователь измерительный	H27-R250	2006	2014	
Преобразователь измерительный	H27-R250	2006	2011	
Преобразователь измерительный	H27-R250	2006	2010	
Преобразователь измерительный	H27-I5	2006	2010	
Преобразователь измерительный	H27-I5	2006	2010	
Преобразователь измерительный	H27-I5	2006	2010	
Преобразователь измерительный	H-11	2006	2011	6 шт.
Дисковод	CD-RW	2004	2010	
Дисковод	CD-ROM	2004	2009	
Винчестер 80G	Maxtor	2004	2007	
Винчестер 80G	Maxtor	2004	2009	
Монитор 19» SyncMaster	957mb	2004	2013	
Оптоконвертор	AT-MC103XL	2005	2012	
Оптоконвертор	AT-MC103XL	2005	2015	
Твердотельное реле	70G-OAC5	2005	2012	1 шт.
Твердотельное реле	70G-OADC5	2005	2014	1 шт.
Плата интерфейсная	Hi-8	2006		1 шт.
Модуль цифрового ввода-вывода	H-43	2006	2013	
Модуль цифрового ввода-вывода	H-43	2006	2015	
Блок питания 12В для LTR	ES25E15-P1J	2011	2014, 2015	2 шт.

Анализ отказов показал, что монитор, плата интерфейсная Hi-8 и модуль H-43 вышли из строя в связи с испытаниями на ЭМС. (Монитор отказал во время испытаний, а Hi8 и H-43 спустя некоторое время.) Отказы винчестеров обусловлены выработкой ресурса. Отказы преобразователей H-11 обусловлены ухудшением характеристик электронных компонентов аналоговых входных трактов. Отказы преобразователей измерительных обусловлены коммутационными процессами (выход из строя электронных компонентов аналоговых входных трактов и источников тока для H27-R250) и случайными причинами (например, сбой ПЗУ).

При отработке каналов контроля нейтронного потока реактора обнаружилось, что метрологические характеристики АЦП H-11 из состава станции сбора данных H-2000 ведомого компьютера вышли за пределы, установленные в технической документации, и имеют большую межканальную проходимость. Решением проблемы стала замена этих АЦП на 24-х разрядные АЦП LTR-114, которые обеспечили диапазон измерения мощности реактора в пределах от 10^{-2} до 10^4 Вт.

Сбои программного обеспечения наблюдались только в момент загрузки программных модулей – это обусловлено одновременной инициализацией интерфейсов RS-485 и USB. RS-485 используются для связи с контроллерами Е-270. Сбой связи обусловлен превышением времени таймаута интерфейса. Интерфейс USB используется для загрузки программы BIOS в контроллеры Е-440 и работы с ними, а также с модулями LTR-114 в составе крейтов LTR. Сбой интерфейса USB приводит к сбою инициализации оборудования и невозможности нормального функционирования его. Сбои программного обеспечения при загрузке были устранены введением дополнительных задержек.

3. Анализ параметров пусков

После окончания модернизации было произведено 39 импульсных пусков из них 18 на этапе физпуска. Одним из основных параметров пуска реактора является энерговыделение в пус-

ке. Оно определяется по активационной методике, которая позволяет получить достоверный результат только через 3 суток. Поэтому необходимы методы экспресс определения энерговыделения реактора в пуске.

При пуске происходит нагрев раствора и повышение давления в активной зоне. СУЗ реактора ЯГУАР автоматически регистрирует состояние технологической системы и форму импульса делений реактора. Проведем анализ возможности использования значений этих параметров для экспресс определения энерговыделения.

Определение энерговыделения по температуре. График изменения температуры сливного трубопровода показан на рис. 2. Для нахождения зависимости температуры от энерговыделения были взяты значения максимальной температуры для каждого импульса. График этой зависимости представлен на рис. 3.

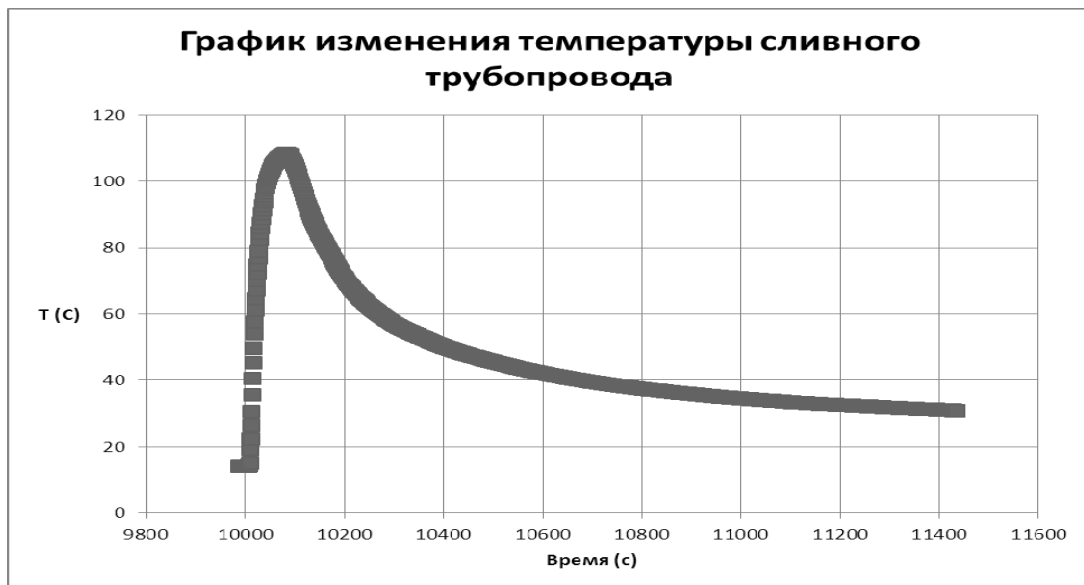


Рис. 2. График изменения температуры сливного трубопровода

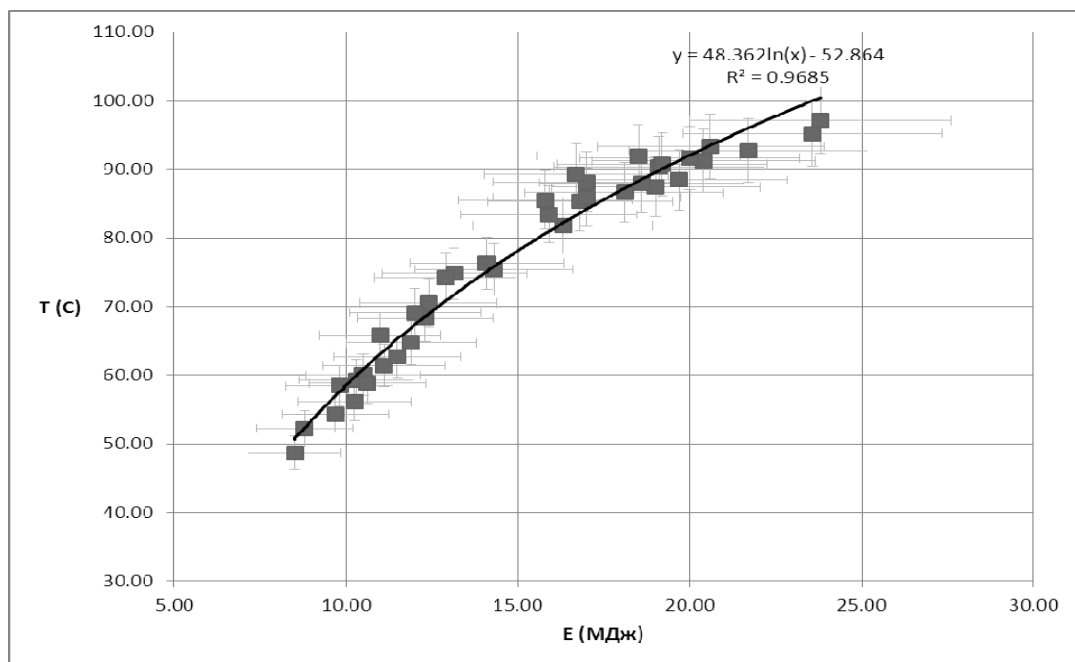


Рис. 3. График зависимости температуры сливного трубопровода от энерговыделения

Из графика можно сделать вывод, что значения максимальной температуры сливного трубопровода хорошо коррелируют со значениями энерговыделения реактора. Таким образом, этот параметр можно использовать для экспресс определения энерговыделения реактора.

Определение энерговыделения по давлению. Анализ экспериментальных данных (рис. 4) показал, что значения давления плохо коррелируют со значениями энерговыделения. Это объясняется тем, что нет технической возможности измерения давления в активной зоне реактора сразу после импульса. Давление измеряется на магистрали, которая соединяет корпус активной зоны и баллон-хранилище во время слива раствора после импульса, т. е. измеряется давление, выровненное между активной зоной и баллоном-хранилищем. Таким образом, этот параметр нельзя использовать для экспресс определения энерговыделения реактора.

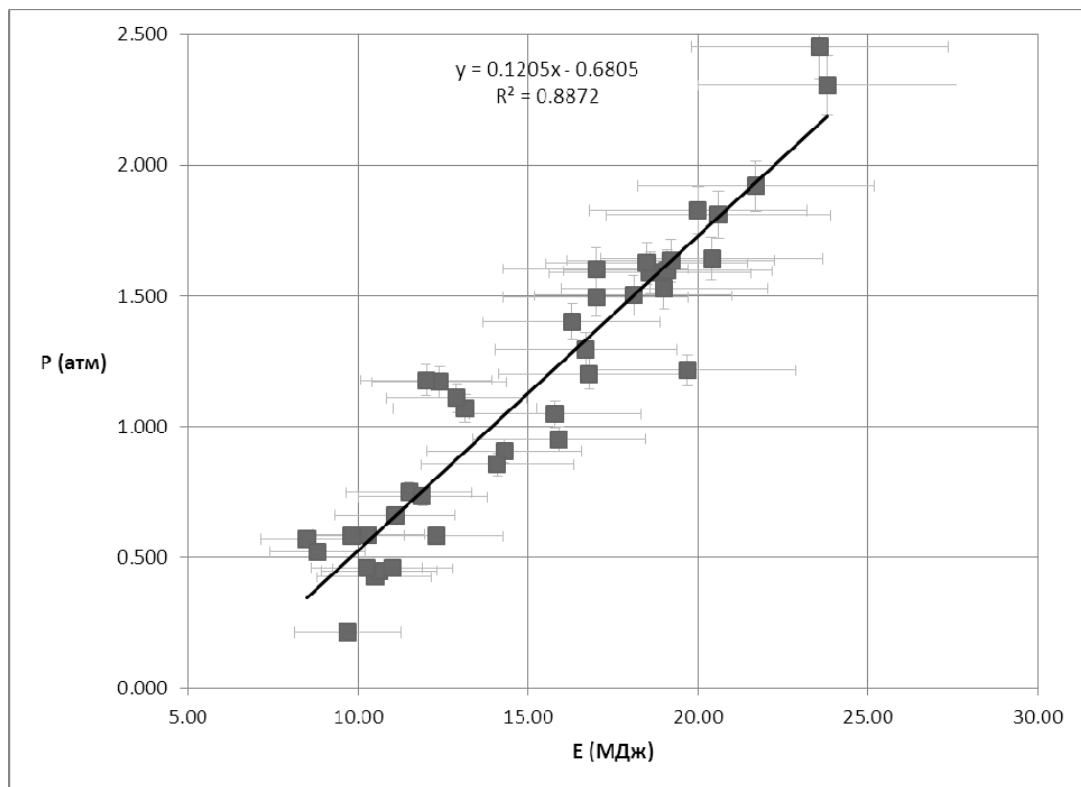


Рис. 4. График зависимости давления на магистрали после импульса

Определение энерговыделения по параметрам формы импульса. СУЗ автоматически вычисляет следующие параметры формы импульса: максимальная амплитуда, площадь, полуширина, начальный период разгона и др. Зависимость амплитуды импульса от энерговыделения представлена на рис. 5. Из графика видно, что амплитуда импульса хорошо коррелирует с энерговыделением. Таким образом, этот параметр можно использовать для экспресс определения энерговыделения реактора.

Зависимость площади импульса от энерговыделения представлена на рис. 6. Из графика видно, что площадь импульса хорошо коррелирует с энерговыделением. Таким образом, этот параметр можно использовать для экспресс определения энерговыделения реактора.

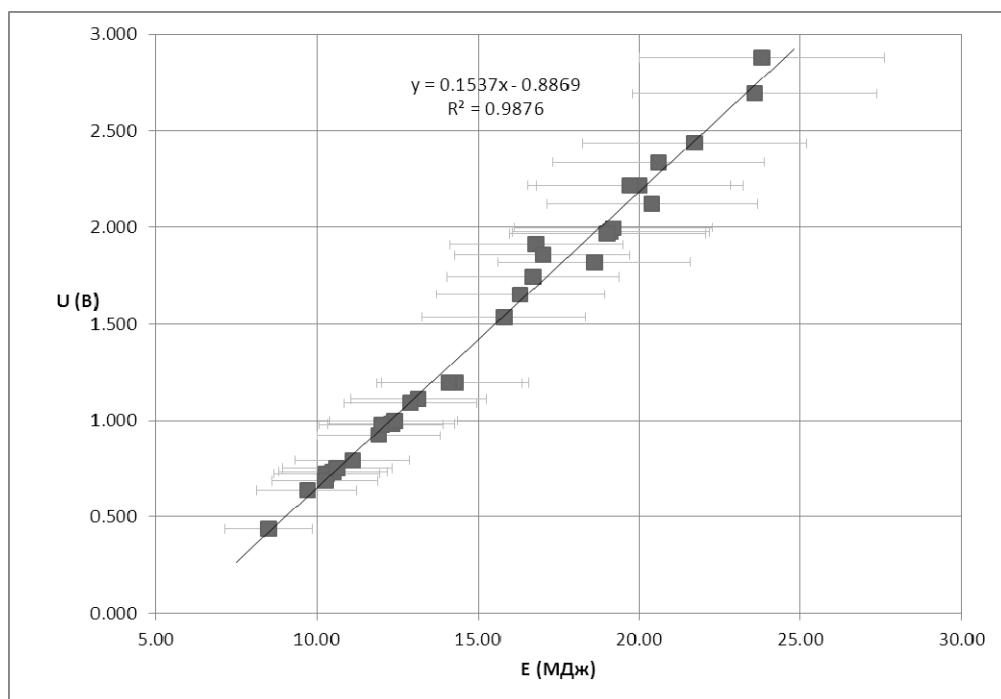


Рис. 5. График зависимости амплитуды импульса от энерговыделения

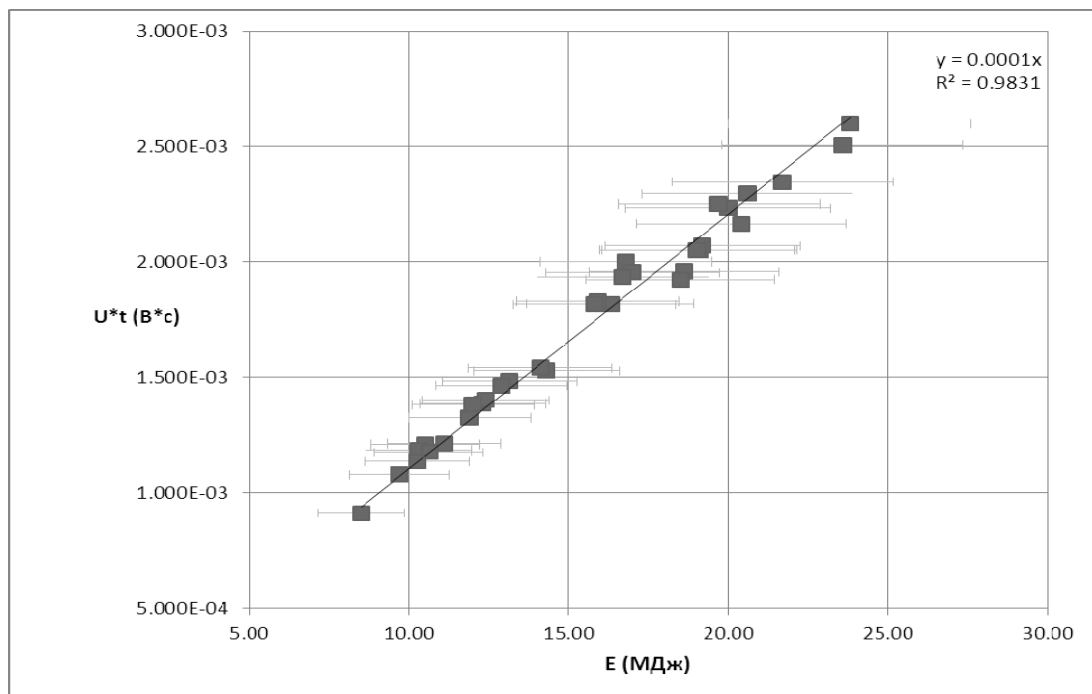


Рис. 6. График зависимости площади импульса от энерговыделения

Заключение

Выявленные в процессе эксплуатации отказы оборудования СУЗ были устранены за счет комплекта ЗИП и не повлияли на безопасность работы реактора. В основном отказы связаны со старением электронных компонентов оборудования, что подталкивает к пересмотру ведомости ЗИП.

Анализ данных о пусках реактора ЯГУАР с модернизированной СУЗ позволяют выявить закономерности для экспресс определения энерговыделения в импульсном режиме.