

DOI: 10.15593/2499-9873/2018.3.05

УДК 519.714.2

С.С. Гусев

Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПО ИСПЫТАНИЮ СИСТЕМ ВОДОРОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

Во многих отраслях науки и техники, как правило, встает вопрос о построении и практическом применении сложных объектов и систем, разнообразных по физической природе, функциональному назначению, конкретной реализации и архитектуре. Полная их автоматизация требует внедрения таких адекватных систем управления, которые характеризовались бы возможностью оценивать ненаблюдаемые переменные объекта, прогнозировать состояние объекта при заданных или выбираемых критериях и автоматизированно синтезировать оптимальные стратегии управления.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, система водородной безопасности, динамический объект, атомные электростанции.

S.S. Gusev

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

AUTOMATED DATA ACQUISITION SYSTEM OF MEASURING INSTALLATION FOR TESTING SYSTEMS OF HYDROGEN SAFETY OF NUCLEAR POWER PLANTS

In many branches of science and technology, as a rule, there is a question of construction and practical application of complex objects and systems, different in physical nature, functional purpose, specific implementation and architecture. Their full automation requires the introduction of such adequate control systems, which would be characterized by the ability to evaluate the unobservable variables of the object, predict the state of the object under specified or selected criteria and automate the synthesis of optimal control strategies.

Keywords: automated control system, hydrogen safety system, dynamic object, nuclear power plants.

Введение

Одним из важнейших аспектов безопасности атомной энергетики является водородная безопасность. Неконтролируемая утечка и возможность горения или взрыва водорода в гермопомещениях АЭС могут привести, в конечном счете, к разрушению контеймента и выходу активности за пределы АЭС в количествах, многократно превышающих проектные значения.

Ликвидация таких аварий сопряжена с огромными материальными и временными затратами. Некоторые нормативные документы отражают требования к обеспечению водородной безопасности АЭС на уровне проектных аварий – первый этап. Авария на Чернобыльской АЭС (1986) предопределила второй этап – учет запроектных аварий.

Накопленный к настоящему времени опыт в решении проблем обеспечения водородной безопасности АЭС обуславливает переход к третьему этапу – системному подходу к данной проблеме [1]. Суть третьего этапа:

- На первой стадии: выявление положительных и отрицательных аспектов взаимовлияния системы обеспечения водородной безопасности на функции других систем обеспечения безопасности АЭС.

- На второй стадии: ослабление, а по возможности и устранение отрицательных и развитие положительных аспектов взаимовлияния.

Осознание сущности третьего этапа проблемы обеспечения водородной безопасности позволит реализовать концепцию повышенной безопасности АЭС.

Системный подход к решению проблемы обеспечения водородной безопасности АЭС необходимо реализовать по следующим основным пунктам:

- источники водорода;
- распространение и распределение;
- явления горения и взрыва;
- воздействие на оборудование и конструкции;
- методы контроля и управления.

В настоящее время уделяется большое внимание проблеме предотвращения тяжелых аварий и смягчению их последствий.

Считается, что частота серьезных повреждений активной зоны должна быть не более 10^{-5} – 10^{-6} на реактор в год, а частота значитель-

ного выброса радиоактивных веществ в атмосферу после аварии реактора не должна превышать 10^{-6} – 10^{-7} на реактор в год.

Аварийные цепочки, в которых события находятся под контролем систем безопасности, не приводят к плавлению зоны. Лишь в сценариях с разрушением или отказом систем безопасности имеют место тяжелые аварии.

Значительные повреждение, разрушение, плавление активной зоны (гипотетические или тяжелые аварии) возможны при возникновении не предусмотренного проектом события или при непроектном протекании аварийной ситуации [1].

Необходимо учитывать две категории выхода радиоактивных материалов:

- из топлива во всем диапазоне возможных температур в присутствии конструкционных материалов и пара;
- из топлива в условиях воздействия на бетон.

Выделение продуктов деления из топлива на начальном этапе определяется микроструктурой топлива, его температурой и глубиной выгорания. Инертные радиоактивные газы (ИРГ), главным образом Хе и Кг, относительно легко выходят из топлива вместе с летучими элементами I и Cs.

По имеющимся оценкам, выделение основной массы продуктов деления успевают произойти за 1–2 ч до разрушения корпуса реактора в результате проплавления. Форма существования указанных продуктов деления – пары и аэрозоли. Cs, I и Te имеют достаточно низкую температуру кипения и присутствуют в виде паров или летучих соединений.

Значительная часть материалов расплавившейся активной зоны остается в первом контуре в результате конденсации аэрозолей и высаживания на относительно холодных поверхностях трубопроводов, химических реакций с поверхностью контура (химсорбция) [2].

Выделяющиеся при плавлении радиоактивные продукты транспортируются газовыми потоками пара и водорода, интенсивность которых возрастает при попадании фрагментов активной зоны в воду, оставшуюся на днище реактора. Затем большая часть активной зоны и опорных конструкций рушится вниз, осушая корпус реактора. До момента разрушения днища корпуса реактора вынос происходит вследствие термического расширения газа. После разрушения корпуса вследствие остаточного тепловыделения в продуктах деления, отложившихся на поверхностях пер-

вого контура, возможно повторное испарение некоторых из них, перенос по контуру или вынос с небольшой скоростью за его пределы.

Состав газа влияет на химическую форму радиоактивных материалов и определяет динамику самого газового потока. Первоначально это чистый пар. Когда начинается окисление стали и циркония, в паре увеличивается содержание водорода, в течение короткого периода перед обрушением зоны это может быть почти чистый водород; затем в газовом потоке вновь возрастает доля пара.

Учет водорода важен при аэрозольных расчетах, так как он значительно снижает плотность и вязкость газового потока, меняет его транспортные свойства.

Давление в первом контуре в процессе аварии также влияет на транспорт продуктов деления: при более высоком давлении возможно образование больших массовых потоков.

Температура газовых потоков в первом контуре управляет процессом конденсации наиболее летучих продуктов деления на окружающих частичках. Температура изменяется по контуру очень существенно и на разных этапах плавления имеет значение от 700 до 2500 °С.

Перенос и отложения материалов в первом контуре определяются химической формой летучих материалов. Инертные газы выделяются в элементарной форме, Cs, I и Te – в виде элементарных паров и летучих соединений в потоке газоносителя на выходе из активной зоны. Компонентный состав газовой атмосферы (H_2O/H_2) и кислородный потенциал топлива (который растет с выгоранием) играют значительную роль в образовании тех или иных химических соединений.

Как показывают расчеты, конденсация цезийсодержащих паров на аэрозольных частицах часто является основным механизмом удержания этих соединений в первом контуре. Второй важный (конкурирующий) процесс – конденсация на внутренних поверхностях оборудования.

Ниже приведены некоторые химические эффекты и виды взаимодействий, которые должны учитываться при оценке переноса продуктов деления от момента их выделения из топлива до выхода за пределы реактора:

- окисление циркония паром (1000 °С), выделение водорода;
- окисление стали паром (1400 °С), выделение водорода;
- гидролитическое окисление карбида бора, образование летучей окиси бора;

- образование низкоплавких сплавов циркония при взаимодействии нержавеющей стали – цирконий;
- образование сплавов с низкой температурой плавления и их капельное стекание.

Наиболее эффективный механизм удержания аэрозолей в первом контуре – гравитационное высаждение, особенно при низких скоростях парогазового потока, когда отдельные частички успевают слиться и достичь размера более 1 мкм.

Общим результатом указанных процессов является то, что в атмосферу продукты деления попадают (в виде аэрозольных частиц) в количестве 1–2 % массы материалов активной зоны, 3–6 % от этой массы являются радиоактивными. Инертные радиоактивные газы выходят полностью. Расчетный максимальный выход летучих соединений продуктов деления для типичного PWR составляет: CsOH – 130 кг; CsI – 25 кг, Te – 26 кг. Масса аэрозолей других материалов – 2800 кг. Выход летучих соединений в основном происходит в течение первого часа после расплавления активной зоны [3].

1. Постановка задачи

Новизна исследования заключается в разработке графического интерфейса для системы автоматизированного сбора научной информации (АСНИ) при испытаниях систем водородной безопасности АЭС, который позволяет отслеживать физические процессы на ЯЭУ (в том числе на АЭС).

Система контрольно-измерительных приборов (КИП) предназначена для измерения, контроля и регулирования заданных параметров установки.

В процессе работы стенда (рис. 1) измеряются следующие параметры:

- температура в 43 точках ОС, а именно:
 - в трубопроводе пара за вентилем – одной точке;
 - при входе трубопровода пара в основной бак – одной точке;
 - на трубопроводе спринклерной системы – одной точке;
 - внутри ОС по всему объему в 40 точках;
- давление рабочей среды в ОС;
- давление в трубопроводе пара (на входе);
- давление в пяти трубопроводах сжатого газа;

- уровень конденсата в баке конденсатосборника;
- расход пара в трубопроводе пара;
- расход воды на спринклерной линии;
- концентрация газов (H_2O).

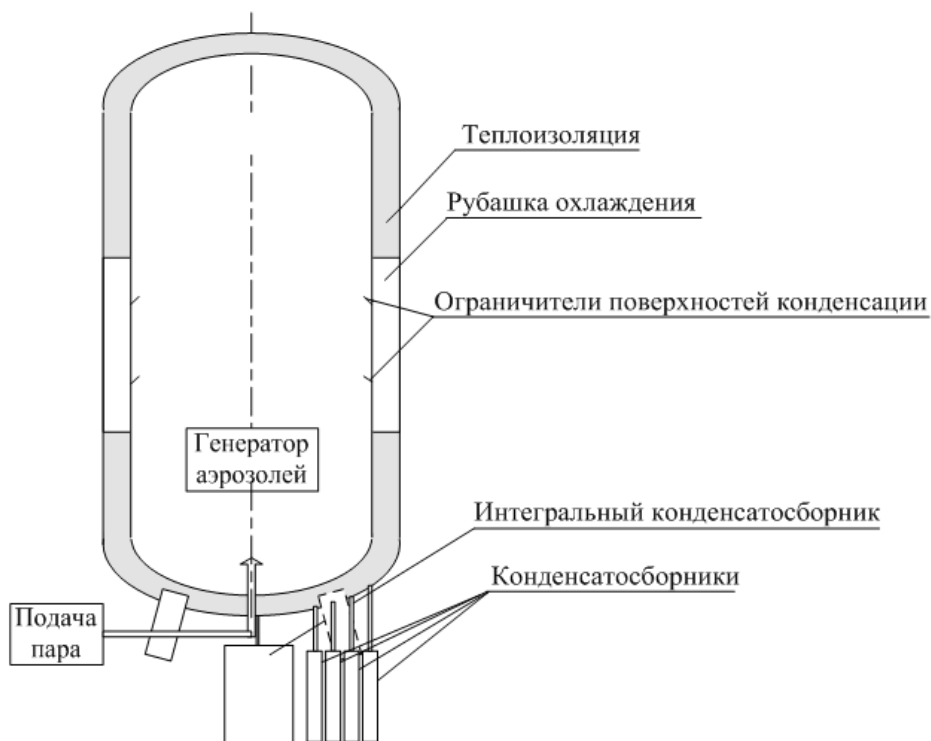


Рис. 1. Упрощенная схема экспериментального модельного стенда

Система КИП построена таким образом, что информация с датчиков температуры, расхода, перепада уровня и давления подается на измерительную систему сбора и обработки данных.

В табл. 1–5 приведены позиции и места установки датчиков.

Таблица 1

Измерение температуры

Позиция	Датчики	Прибор	Место установки
БК 1	Термопара ХА	От датчиков к крейту LTC	Трубопровод пара
БК 2 – БК 43	Термопара ХА		Внутри ОС

Таблица 2

Измерение давления

Позиция	Датчики	Прибор	Место установки
BP 1	Метран 43 ДИ-3156-01	От датчиков к крейту LTC	Вверху ОС
BP 2	Метран 13 ДИ-3156-01		Трубопровод пара
BP 3	МИДА-ДИ-13ПК-ЕХ		Трубопровод O ₂
BP 4	МИДА-ДИ-13ПК-ЕХ		Трубопровод CO ₂
BP 5	МИДА-ДИ-13ПК-ЕХ		Трубопровод CO
BP 6	МИДА-ДИ-13ПК-ЕХ		Трубопровод N ₂
BP 7	МИДА-ДИ-13ПК-ЕХ		Трубопровод H ₂
PP 1	Манометр (образцовый)		В середине ОС

Таблица 3

Измерение расхода

Позиция	Датчики	Прибор	Место установки
BZ 1	Метран 43ФДД-3494-03	От датчиков к крейту LTC	Трубопровод пара
BZ 2	Сапфир-22МДД-2430-02		Трубопровод воды

Таблица 4

Измерение уровня

Позиция	Датчики	Прибор	Место установки
ВН 1	Метран 43ФДД-3494-03	От датчика к крейту LTC	Бак конденсато-сборника

От всех датчиков (термопары, расходы, уровни, давление, концентрация газа) сигнал поступает на крейт LTC и далее – на персональный компьютер (ПК).

Таблица 5

Измерение концентрации газа

Позиция	Датчики	Прибор	Место установки
PX-1	Хроматограф	От датчиков к крейту LTC	Система отбора проб
PX-2	Хроматограф		
PX-3	Хроматограф		

Измерение концентрации газов в модели осуществляется с помощью приборов – хроматографов ЛХМ-8МД. Действие приборов основано

на применении газоадсорбционной хроматографии в изотермическом тепловом режиме капиллярных колонок. Для детектирования выходящих из колонки газов используется детектор по теплопроводности (ДТ) с последующей регистрацией результатов анализа в компьютере.

Поток газа-носителя, необходимый для продвижения разделяемой смеси по колонке, формируется блоком подготовки газов, который обеспечивает регулирование, очистку и стабилизацию газового потока.

Газовая проба анализируемой смеси с помощью газового кранодозатора подхватывается потоком газа-носителя и вносится в колонку. За счет различной сорбции компонентов смеси на поверхности адсорбента, наполняющего колонку, компоненты перемещаются по колонке с различной скоростью. В результате этого из колонки они выходят разделенными один за другим в потоке газа-носителя – бинарные смеси.

Бинарные смеси поступают в детектор, который реагирует на входящие в него компоненты.

При работе с детектором по теплопроводности чистого газа-носителя и бинарной смеси газа-носителя с анализируемыми компонентами это различие в теплопроводности приводит к разбалансу равновесного моста детектора, что регистрируется компьютером.

2. Составные элементы системы автоматизированного сбора научной информации (АСНИ)

В состав измерительной системы входят персональный компьютер, крейтовая система LTC фирмы LCARD, состоящая из крейта LTC-27, крейтконтроллера LC-014, модулей LC-227К, LC-026К и LC-111. Модуль LC-227К предназначен для работы с термодатчиками различных типов, модуль LC-111 – для измерения напряжения в широких пределах. Система LTC подключается к компьютеру через принтерный порт, который поддерживает протоколы EPP или Bidirectional.

LTC – это модульная система сбора данных с разнообразных датчиков и управления в задачах промышленной и лабораторной автоматизации. Рассчитана на применение в широком диапазоне задач, включая задачи с повышенными требованиями к качеству измерительных трактов (0,1 % и выше), а также задачи, в которых необходимо измерять и управлять большим количеством разнородных сигналов. Для обеспечения высоких точностных характеристик в LTC имеется система калибровки, значения калибровочных коэффициентов хранятся в ППЗУ модулей.

Все модули выполнены в виде плат размером 100×135 мм и обычно размещаются в стандартном конструктиве LTC-16 (16 слотов), рассчитанном на монтаж в 19” стойку.

Система решает широкий спектр задач в областях промышленной автоматизации, позволяет создать распределенную сеть управления данными.

Модуль крейт-контроллера выполнен на мощном 16-битном, 10 МГц RISC процессоре семейства ADSP21XX фирмы Analog Devices и выполняет все функции по управлению модулями УСО, временной синхронизации, линейаризации измерений, формированию массива данных и передаче его через блок внешнего интерфейса в компьютер [4].

К LTC подключаются термопары (ВК 1 – ВК 43), компенсация их холодных спаев осуществляется в термостате (тающий лед – вода), датчики давления (ВР 1 – ВР 7), уровня (ВН 1) и выходы (РХ 1 – РХ 3) системы измерения концентрации газа.

Скорость переключения каналов в LTC, последовательность включения каналов и предел измерения задаются программно. Персональный компьютер (ПК) осуществляет управление сбором исходной информации, ее накопление, обработку, хранение и представление исследователю на дисплее (принтере) в табличной и графической форме. Программа, осуществляющая сбор, предварительную обработку и отображение информации, написана с использованием пакета LabView 5.1.1 (National Instruments).

Подготовка системы АСНИ к работе и работа с оборудованием, входящим в состав системы, осуществляются согласно соответствующим инструкциям по эксплуатации.

Запись информации происходит по команде оператора с помощью программ, управляющих системой. Порядок выполняемых действий необходимо соблюдать согласно руководству пользования программой [4].

Перечень оборудования, применяемый в АСНИ, показан в табл. 6.

На рис. 2 приведена блок-схема работы теплофизического стенда.

Из рис. 2 [5] видно, что от датчиков (термопар, датчиков давления, расходомеров, датчиков концентрации газа) сигнал поступает на крейт LTC, который обрабатывает данный сигнал и передает на ПК. В свою очередь, компьютер анализирует сигнал и выводит зависимость в виде графиков на монитор.

Таблица 6

Перечень оборудования, применяемого в системе АСНИ

№ п/п	Наименование	Основные технические характеристики	Кол-во, шт.	Область применения
1	Персональный компьютер (ПК)	Процессор Celeron 446 PPGA BOX 1; системная плата Chaintech CT-6ATA2/Slot 1, VIA PRO+, AGP, ATX; память SD-RAM 64 Мб (pc-100); Монитор Hyundai 15"	1	Сбор и предварительная обработка информации
2	Термопарный усилитель LC227K	Диапазон – от 0 до 50 мВ, точность $\pm 0,25$ % от диапазона, время преобразования 100 мс., количество каналов – 8, межканальная гальваническая развязка – 500 В	2	Измерение температуры
3	Субмодуль расширения каналов LC026K	Диапазон – от 0 до 50 мВ, точность $\pm 0,25$ % от диапазона, время преобразования 100 мс, количество каналов – 8, межканальная гальваническая развязка – 500 В	2	Измерение температуры
4	Коммутатор-преобразователь LC111K	Диапазон: ± 10 В, ± 5 В, $\pm 2,5$ В, $\pm 1,25$ В. Точность – $\pm 0,1$ % от входного диапазона, время измерения 20 мкс, число каналов-16, входной импеданс – больше 10 МОм, 100 пФ, групповая гальваническая развязка – 500 В	4	Измерение аналоговых сигналов датчиков
5	Крейт LTC27	Габаритные размеры 430×126×230 мм, источник питания 150 Вт	1	Монтаж модулей LTC
6	Крейт-контроллер LC014	Скорость передачи 400 кбайт/с, длина шлейфа до 1 м	1	Связь с компьютером
7	Система измерения концентрации газа	Пределы измерения концентрации от 0 до 100 %, количество каналов 3, основная погрешность ± 10 %, 3 хроматографа	1	Измерение концентрации газа
8	Преобразователь измерительный «Метран» 43ФДД-3494-03	Пределы измерения расходов от 0 до 0,1 кг/с, основная погрешность $\pm 0,5$ %	1	Измерение расхода
9	Преобразователь измерительный «Метран» 43ФДД-3494-01	Пределы измерения расходов от 0 до 0,1 кг/с, основная погрешность $\pm 0,5$ %	1	Измерение уровня
10	Преобразователь измерительный «Сапфир» 22430 ДД	Пределы измерения от 0 до 63 кПа, основная погрешность 0,5 %	1	Измерение расхода спринклера

Окончание табл. 6

№ п/п	Наименование	Основные технические характеристики	Кол-во, шт.	Область применения
11	Преобразователь измерительный МИДА-ДИ-13ПК-ЕХ	Пределы измерения давления от 0 до 16 кПа, основная погрешность $\pm 0,2\%$	5	Измерение давления
12	Преобразователь измерительный «Метран» 43ДИ-3156-01	Пределы измерения давления от 0 до 1,0 кПа, основная погрешность $\pm 0,5\%$	2	Измерение давления
13	Блок питания 22БП36	Входное напряжение 36 В	5	Источник питания преобразователей «Метран»

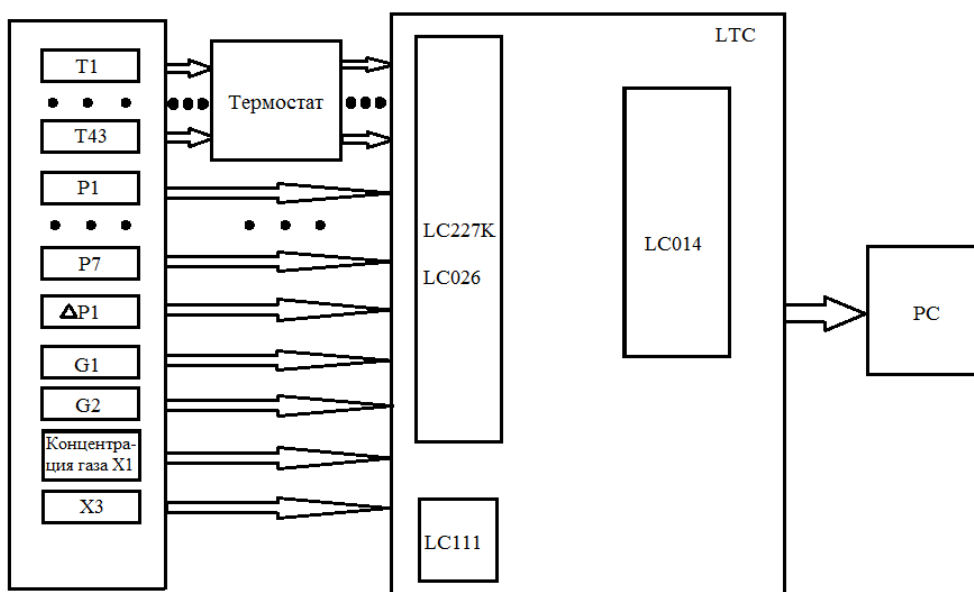


Рис. 2. Блок-схема работы теплофизического стенда

3. Оборудование системы контроля концентрации водорода

На рис. 3 представлена структура системы контроля концентрации водорода.

Оборудование системы контроля концентрации водорода предназначено для контроля состояния парогазовой смеси под защитной оболочкой для действующих и вновь проектируемых АЭС с ВВЭР в ре-

жимах нормальной эксплуатации, а также в режимах протекания проектных и запроектных аварий.

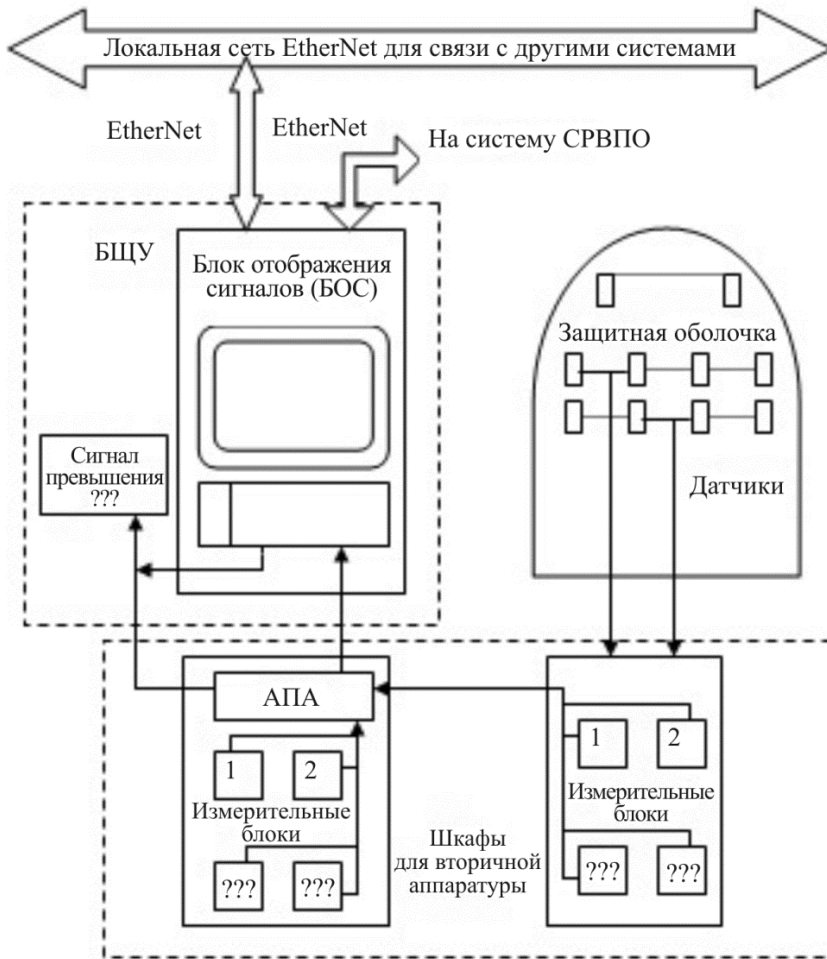


Рис. 3. Структура системы контроля концентрации водорода

Система контроля включает в свой состав оборудование:

- газоанализатор водорода (ГВ-01);
- измерительный комплекс газоанализаторов водорода и кислорода (ГВК);
- датчик температуры окружающей среды (Тсреды);
- аппаратно-программный анализатор (АПА);
- блок отображения сигналов (БОС);
- шкафы для вторичной аппаратуры (БК);

- испытательное оборудование (ПЕГАС);
 - для диапазона концентраций 0–25 % – $\pm 0,5$;
 - для диапазона концентраций 0–100 % – $\pm 1,25$.
- средства пассивного удаления водорода (ПКРВ);
- кабельная продукция (КП).

Газоанализатор водорода предназначен для измерения парциального давления водорода и температуры в парогазовой среде помещений защитной оболочки АЭС.

В табл. 7 приведены основные технические характеристики.

Таблица 7

Диапазоны измеряемых концентраций водорода

Диапазон измерений	Диапазон парциальных давлений	Давление анализируемой смеси
(0...5) об. %	(0...0,005) МПа	0,083 МПа до 0,101 МПа
(0...10) об. %	(0...0,01) МПа	0,083 МПа до 0,101 МПа
(0...25) об. %	(0...0,025) МПа	0,083 МПа до 0,101 МПа
(0...100) об. %	(0...0,1) МПа	0,083 МПа до 0,101 МПа

1. При измерении газоанализатором концентрации водорода в парогазовых смесях с давлением более 0,1 МПа измеренная величина концентрации водорода должна быть пересчитана с учетом давления парогазовой среды по следующей формуле:

$$C_d = \frac{C_{\text{изм}} \cdot P_0}{P},$$

где C_d – действительное значение концентрации водорода, об. %; $C_{\text{изм}}$ – измеренное значение концентрации водорода, об. %; $P_0 = 0,1$ МПа, P – действительное значение давления парогазовой среды, МПа.

2. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения, об. %, не более:

- для диапазона концентраций 0–5 об. % – $\pm 0,2$;
- для диапазона концентраций 0–10 об. % – ± 10 .

3. Газоанализатор обеспечивает круглосуточную работу.

4. Средняя наработка на отказ, ч – не менее 8000.

5. Средний срок службы, лет – не менее 10.

6. Диапазон допустимых температур среды в месте установки датчика, °С:

- от 0 до 150 °С – неограниченно;
- от 150 до 200 °С – в течение 1 ч;
- от 200 до 700 °С – в течение 250 с.

При температуре среды свыше 150 °С погрешность измерения концентрации водорода не нормируется.

7. Габаритные размеры и масса датчика газоанализатора:

- высота, мм – не более 450;
- ширина, мм – не более 100;
- длина, мм – не более 100;
- масса, кг – не более 3.

8. Потребляемая мощность, ВА – не более 130.

9. Длина линий связи датчика с измерительным прибором определяется суммарным электрическим сопротивлением жил магистральных измерительных и силовых кабелей. Оно не должно превышать 300 Ом для измерительного кабеля чувствительного элемента газоанализатора, 1000 Ом – для измерительного кабеля термоэлектрического преобразователя, входящего в состав газоанализатора, и 10 Ом – для силового кабеля нагревателя рабочей камеры газоанализатора.

В комплект газоанализатора водорода входит:

- блок датчика с чувствительным элементом и кабельными выходами сигналов длиной до 2 м;
- вторичный электронный измерительный блок с сетевым кабелем до 3 м;
- датчик температуры среды защитной оболочки АЭС.

4. Проведение эксперимента и анализ полученных результатов со стенда установки измерительной, предназначенной для испытания систем водородной безопасности (УИИСВБ)

Эксперимент проходил при следующих параметрах среды в объеме модельного контейнента:

- давление парогазовой среды – от 100 до 350 кПа;
- температура газовой среды – 105–137 °С.

Сценарий проведения эксперимента описан в табл. 8.

Таблица 8

Сценарий проведения эксперимента

Время, с	Событие
–	<i>Подготовительный этап</i> Очистка модельного контейнента насыщенным паром
0	<i>Начало эксперимента</i> Подача пара в объем модельного контейнента до давления ~350 кПа (средняя температура парогазовой смеси – 137 °С). Сбор конденсата в интегральный и локальные конденсатосборники
1800	Слив воды из интегрального и локального конденсатосборников, подача пара не прекращается
–	Окончание эксперимента

Сбор конденсата производился в имеющийся интегральный конденсатосборник и в четыре дополнительно установленных локальных конденсатосборника. Конденсат в локальные конденсатосборники собирался с вычлененных участков внутренней поверхности модельного контейнента. Давление конденсата, поступающее в локальные конденсатосборники, измерялось датчиками «Сапфир»-22ДД-2434. Температура внутри модельного контейнента измерялась термопарами хромель-алюмель (ХА). В ходе эксперимента проведены измерения следующих физических величин:

- температуры парогазовой смеси в объеме модельного контейнента в зависимости от времени;
- давления парогазовой смеси в объеме модельного контейнента в зависимости от времени.

Из рис. 4 видно, что в начале опыта давление нестабильно и от момента времени 500 с начинает стабилизироваться и выходит на нормальный режим. Нестабильность можно объяснить тем, что пар подавался не сразу, а постепенно, также на аппаратуру влияли внешние факторы.

Из рис. 5 видно, что значение температуры в точке, где установлен Т2, имеет наименьшее значение, это объясняется тем, что термопара располагается на входе в модель. Значение температуры датчика Т4 со временем возрастает от 65 до 75 °С, а затем снова уменьшается до 65 °С. Это связано с тем, что, во-первых, датчик располагается внутри модели по центру оси и, во-вторых, сначала происходит нагрев, за счет паров, а затем охлаждение. И наконец, само значение температуры достигается в точке, где установлен датчик Т13, что объясняется

местом установки этого датчика, так как пар поднимается вверх и там находится в течение всего эксперимента. В конце опыта пар осаждается в конденсатосборники, после чего сбрасывается в виде воды.

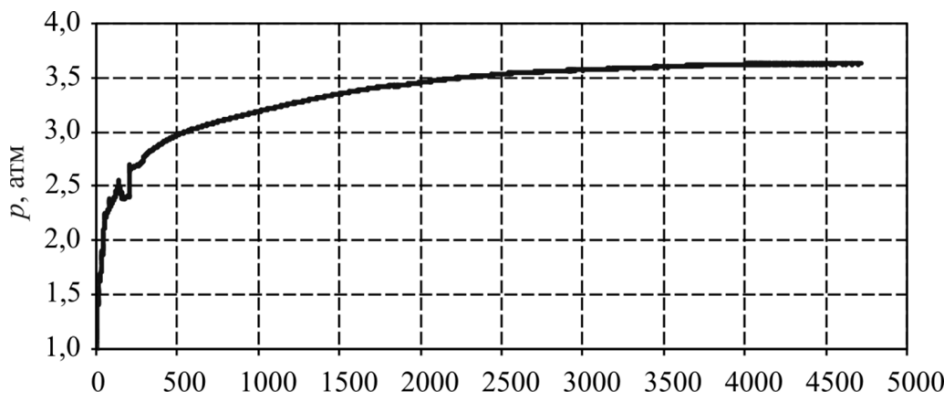


Рис. 4. Распределение давления пара газовой смеси в объеме модельного контейнента

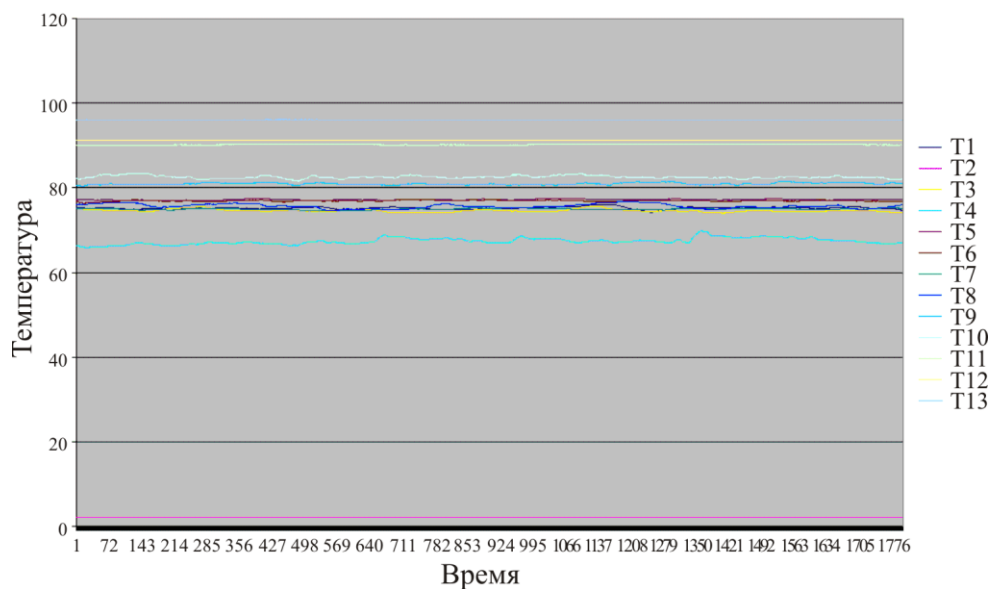


Рис. 5. Температура пара газовой смеси в объеме модельного контейнента

Таким образом, аналоговые модули ICP CON, которые входят в состав измерительной установки, работают без ошибок. Также отметим, что процесс передачи данных на ПК ускорился в 3 раза по сравне-

нию со старым модульным крейтом LTC. Также увеличилась точность измерения параметров до третьего знака после запятой.

Заключение

Одним из важнейших аспектов безопасности атомной энергетики является водородная безопасность. Неконтролируемая утечка и возможность горения или взрыва водорода в гермопомещениях АЭС могут привести, в конечном счете, к разрушению контеймента и выходу активности за пределы АЭС в количествах, многократно превышающих проектные значения.

В настоящее время уделяется большое внимание проблеме предотвращения тяжелых аварий и смягчению их последствий.

Так, в настоящей работе описывается установка измерительная, предназначенная для испытания систем водородной безопасности. Испытания, проводимые ранее на этой установке, получили распространение в ряде стран, таких как Китай, Иран, Индия.

Произведена модернизация одного из основных узлов установки, а именно – заменена старая модульная крейтовая система LTC на современные аналоговые модули ICP CON и соответственно написана программа в среде графического программирования Lab View.

Также проведен эксперимент с аналоговыми модулями ICP CON. Данные, полученные с этих модулей, проанализированы и обработаны.

Список литературы

1. Арнольдов М.Н., Каржавин В.А., Трофимов А.И. Основы метрологического обеспечения температурного контроля реакторных установок: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2012. – 248 с.
2. Виноградова Н.А., Листратов Я.И., Свиридов Е.В. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabView: учеб. пособие. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 47 с.
3. Тревис Дж. LabView для всех / под ред. В.В. Шаркова, В.А. Гурьева. – М.: ПриборКомплект, 2005. – 544 с.
4. Лысиков Б.В., Прозоров В.К. Термометрия и расходометрия ядерных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 120 с.
5. Туманов А.А. Статистическая обработка результатов измерений: учеб. пособие / ГНЦ РФ-ФЭИ. – Обнинск, 2007. – 172 с.

References

1. Arnol'dov M.N., Karzhavin V.A., Trofimov A.I. Osnovy metrologicheskogo obespecheniya temperaturnogo kontrolya reaktornyh ustanovok [Fundamentals of metrological support of temperature control of reactor plants]. uchebnoe posobie dlya vuzov. Moscow. Izdatel'skij dom MEHI. 2012, 248 p.
2. Vinogradova N.A., Listratov YA.I., Sviridov E.V. Razrabotka prikladnogo programmnoho obespecheniya v srede LabView [Development of application software in LabView environment]. uchebnoe posobie. Moscow. Izdatel'stvo MEHI. 2005, 47 p.
3. Dzheffri Trevis. LabView dlya vsekh [LabView for all]. pod red. SHarkova V.V., Gur'eva V.A., Izd. PriborKomplekt. Moscow. 2005, 544 p.
4. Lysikov B.V., Prozorov V.K. Termometriya i raskhodometriya yadernyh reaktorov [Thermometry and flow rate of nuclear reactors]. Moscow. ENergoatomizda. 1985, 120 p.
5. Tumanov A.A. Statisticheskaya obrabotka rezul'tatov izmerenij [Statistical processing of measurement results]. uchebnoe posobie SSC RF-IPPE, Obninsk. 2007, 172 p.

Получено 15.04.2018

Об авторе

Гусев Сергей Сергеевич (Москва, Россия) – соискатель Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65, e-mail: gs-serg@mail.ru).

About the author

Sergei S. Gusev (Moscow, Russian Federation) – Ph.D. Student, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences (65, Profsouznaya st., Moscow, 117997, Russian Federation, e-mail: gs-serg@mail.ru).