

А. Н. Калногуз¹, В. В. Олейник¹,
Е. Н. Демидов¹, А. Л. Клевцов², А. М. Дыбач²

¹ НПП «Хартрон-Аркас», г. Харьков, Украина

² Государственный научно-технический центр
по ядерной и радиационной безопасности, г. Киев, Украина

Автоматизированная система контроля и управления ядерной подкритической установкой: описание системы и предварительные экспертные оценки

Рассмотрены основные принципы структурного построения автоматизированной системы контроля и управления (АСКУ) ядерной подкритической установки (ЯПУ), управляемой линейным ускорителем электронов (ЛУЭ). Описаны состав и функции систем, входящих в АСКУ. Приведены сведения по вопросам экспертных оценок АСКУ ЯПУ, включающие нормирование требований к АСКУ.

Ключевые слова: ядерная подкритическая установка, автоматизированная система контроля и управления, экспертные оценки.

**А. М. Калногуз, В. В. Олійник, Е. М. Демідов, О. Л. Клевцов,
О. М. Дибач**

Автоматизована система контролю і управління ядерної підкритичної установки: опис системи та попередні експертні оцінки

Розглянуто основні принципи структурної побудови автоматизованої системи контролю і управління (АСКУ) ядерної підкритичної установки (ЯПУ), керованої лінійним прискорювачем електронів (ЛПЕ). Описано склад і функції систем, що входять до АСКУ. Наведено відомості з питань експертних оцінок АСКУ ЯПУ, що охоплюють нормування вимог до АСКУ.

Ключові слова: ядерна підкритична установка, автоматизована система контролю і управління, експертні оцінки.

© А. Н. Калногуз, В. В. Олейник, Е. Н. Демидов, А. Л. Клевцов,
А. М. Дыбач, 2013

В 2011 году в Национальном научном центре «Харьковский физико-технический институт» (ННЦ ХФТИ) начато строительство ядерной установки, основанной на подкритической сборке, управляемой линейным ускорителем электронов. Для управления технологическими процессами ЯПУ группой предприятий разрабатывается автоматизированная система контроля и управления. Целью создания АСКУ является обеспечение безопасности эксплуатации ЯПУ и требуемого качества управления оборудованием во всех режимах эксплуатации.

АСКУ представляет собой распределенную человеко-машинную автоматизированную систему, которая позволяет оперативному персоналу с помощью аппаратных и программных средств обеспечить эффективное управление ЯПУ.

СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ

Объектами контроля и управления АСКУ являются параметры технологических процессов (ТП) и технологическое оборудование (ТО) систем и агрегатов ЯПУ.

Технологический процесс управления представляет собой координированное управление оборудованием ЯПУ на всех этапах жизнедеятельности во всех проектных режимах эксплуатации с обеспечением безопасности её работы. Хронологическая последовательность включения, выключения и функционирования технологического оборудования ЯПУ служит базой для разработки режимов и алгоритмов работы АСКУ.

Основная задача АСКУ — обеспечение нормальной эксплуатации оборудования ЯПУ, своевременное выявление отклонений от нормальной эксплуатации благодаря контролю параметров безопасности и автоматическая реализация защит и блокировок, которые предотвращают перерастание нарушений нормальной эксплуатации в аварийные ситуации путем выключения ускорителя.

Далее приведен перечень объектов контроля и управления АСКУ в части контуров охлаждения и бассейна выдержки ЯПУ, а также перечень параметров безопасности установки, контролируемых в процессе работы.

Оборудование контуров охлаждения

Первые контуры охлаждения. Оборудование первых контуров охлаждения предназначено для отвода тепла от подкритической сборки (ПКС) и нейтронообразующей мишени (НОМ), а также поддержания водно-химического баланса теплоносителя ЯПУ согласно установленным в проекте ЯПУ «Источник нейтронов» требованиям.

В состав первых контуров охлаждения ПКС и НОМ входят: трубопроводы и запорно-регулирующая арматура; баки НОМ, ПКС и расширительные ёмкости; запорно-регулирующая арматура; циркуляционные и дренажные насосы; теплообменники; ионообменные колонки; ёмкости с деминерализованной водой; монжусы и ёмкости для хранения жидких радиоактивных отходов (ЖРО); оборудование для подачи сжатого воздуха; оборудование контроля качества теплоносителя; оборудование спецвентиляции.

Вторые контуры охлаждения. Вторые контуры охлаждения ПКС и НОМ предназначены для отвода тепла от первых контуров охлаждения подкритической сборки и нейтронообразующей мишени, ЛУЭ — от первого контура охлаждения линейного ускорителя электронов ЯПУ.

В состав вторых контуров охлаждения входят: циркуляционные насосы; вентиляторные градирни; запорно-регулирующая арматура; приемные емкости охлажденной воды; установка деминерализации и стабилизационной обработки воды; соединительные трубопроводы; автоматические самоочищающиеся фильтры.

Бассейн выдержки (БВ)

Бассейн выдержки (БВ) предназначен для снятия активности и остаточных тепловыделений отработавших тепловыделяющих сборок (ТВС) и облученных НОМ до значений, допускающих их транспортирование. БВ включает: емкости (бассейны) БВ1, БВ2 для выдержки ТВС и НОМ; дренажный бак; запорно-регулирующую арматуру.

Управление оборудованием первых и вторых контуров охлаждения (ОКО-I, ОКО-II) и БВ осуществляется автоматически и/или дистанционно средствами дисплейного управления (с видеогрaмм пульта управления) путем выдачи по цифровому каналу связи команд управления на исполнительные механизмы.

Контроль состояния объектов управления производится по сигналам от датчиков состояния:

регулирующих клапанов (степень открытия, %);
зadвижки с электроприводом («открыта», «закрыта», «авария»);

насосов («выключен», «включен»);
вентиляторов градирен («выключен», «включен») ОКО-II.

Предусматривается также управление исполнительными механизмами с местных щитов управления при выдаче соответствующего разрешения оператором ЯПУ с пульта управления (ПУ) АСКУ.

Параметры безопасности ЯПУ

Параметры безопасности ЯПУ, контролируемые АСКУ, условно разделены на две группы.

В первую группу вошли параметры, отклонение которых от допустимых пределов может привести к нарушению условий ядерной безопасности эксплуатации ЯПУ. Эти параметры контролируются резервированными системами класса безопасности 2 — системой защит и блокировок и системой контроля плотности нейтронного потока (СЗиБ), которые при нарушении условий эксплуатации автоматически вырабатывают сигнал на блокировку работы ЛУЭ.

Ко второй группе отнесены параметры, которые косвенно подтверждают выход за допустимые пределы параметров первой группы, а также параметры, не приводящие к нарушению ядерной безопасности эксплуатации ЯПУ при их отклонении от допустимых границ. Контроль этой группы параметров выполняют входящие в состав АСКУ системы контроля и управления класса безопасности 3, для которых резервирование не является необходимым.

По итогам контроля данных параметров АСКУ должна формировать и выдавать в систему управления линейным ускорителем электронов (СУ ЛУЭ) сигнал, блокирующий работу ЛУЭ с подкритической сборкой ЯПУ, либо (в зависимости от параметра) предоставлять информацию оператору для принятия решения.

СТРУКТУРА И СОСТАВ АСКУ

Иерархическая структура АСКУ представляет собой распределенную многоуровневую автоматизированную систему и включает:

нижний уровень — датчики измерения параметров технологического процесса и исполнительные механизмы, обеспечивающие отработку управляющих команд;

средний уровень — контроллеры и микропроцессоры, обеспечивающие прием, обработку сигналов измерения и выдачу команд, формируемых алгоритмами защит, блокировок и управления оборудованием нижнего уровня;

верхний уровень — пункт управления АСКУ.

Пункт управления АСКУ включает следующие технические средства:

два пульта управления АСКУ (основной и резервный), автоматизированное рабочее место начальника смены (АРМ НС), пульта управления и АРМы систем АСКУ;

устройства отображения информации коллективного пользования, включающие пять настенных мониторов системы технологической сигнализации и оповещения (СТСиО), и четыре настенных монитора СУ ЛУЭ.

Укрупненная схема структурная комплекса технических средств АСКУ представлена на рис. 1 (позициями 1, 2, ..., 18 обозначены выходы и входы отдельных компонентов АСКУ для иллюстрации взаимосвязей между системами).

В состав АСКУ ЯПУ функционально входят:

системы безопасности ЯПУ «Источник нейтронов»: система защит и блокировок (СЗиБ); интерфейсная подсистема по сопряжению с системой управления линейного ускорителя (ИПС с ЛУЭ);

управляющие системы ЯПУ: система управления линейного ускорителя (СУ ЛУЭ); система управления машиной перегрузочной (СУМП); система управления оборудованием контуров охлаждения (СУ ОКО); система контроля технологических параметров бассейна выдержки (СКТПБВ) отработавших тепловыделяющих сборок и облученных нейтронообразующих мишеней; автоматизированная система контроля и управления инженерными системами (АСКУ ИС) здания ЯПУ; пульт управления АСКУ;

контролирующие системы ЯПУ: система контроля плотности нейтронного потока (СКПНП); автоматизированная система радиационного контроля (АСРК); система аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции (САС СЦР);

информационные системы АСКУ: система технологической сигнализации и оповещения (СТСиО); информационно-вычислительная система (ИВС).

Межсистемные связи АСКУ. Все элементы структурной схемы АСКУ (абоненты) объединены вычислительными сетями:

ЛВС ИВС/АСКУ — для передачи данных в ИВС и СТСиО, а также для организации взаимодействия ПУ АСКУ со смежными системами (в рамках АСКУ);

ЛВС ПУ — для взаимодействия ПУ АСКУ с системами СЗиБ и ИПС с ЛУЭ, СУ ОКО-I, СУ ОКО-II и СКТПБВ и передачи управляющих воздействий, задаваемых оператором с пульта управления АСКУ, на исполнительные механизмы систем СУ ОКО и СКТПБВ.

Обе ЛВС разделены, независимы и построены по технологии Ethernet, стек протоколов TCP/IP V.4. Топология ЛВС — радиальная, связь каждого абонента с коммутаторами ЛВС осуществляется двумя дублированными каналами по принципу «точка—точка». Характеристики ЛВС ПУ

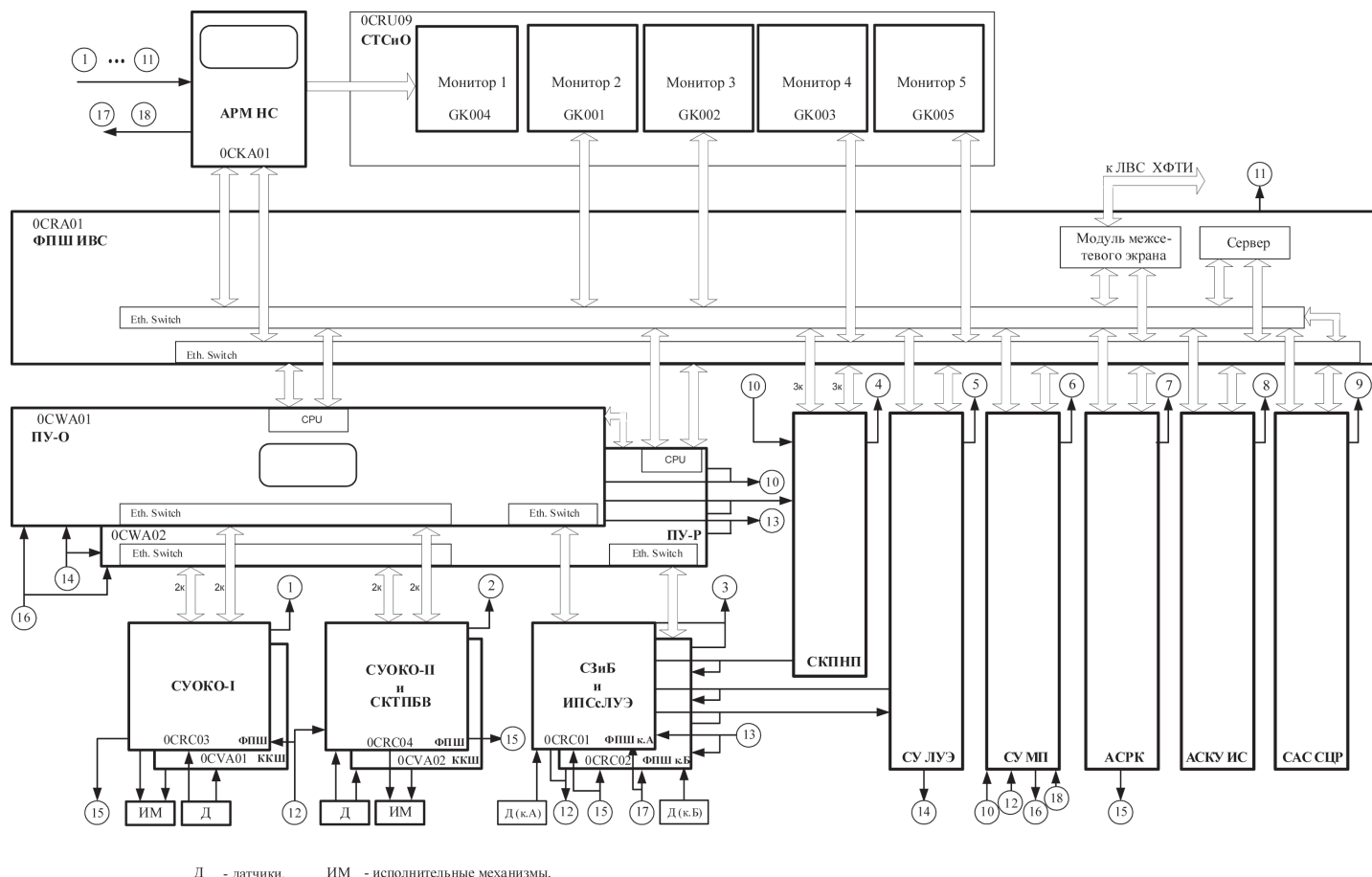


Рис. 1. Укрупненная схема структурная комплекса технических средств АСКУ

и ЛВС ИВС/АСКУ обеспечивают оперативность, качество и надежность информационного обмена систем АСКУ ЯПУ. Обмен информацией между уровнями и системами АСКУ ЯПУ осуществляется посредством запросов данных, инициативной передачи данных, сигналов и сообщений, а также процедур репликации и синхронизации данных.

Системы класса безопасности 2 АСКУ полностью изолированы от взаимодействия с внешними сетями. Только для ИВС, имеющей класс безопасности 3, разрешен односторонний обмен — передача данных во внешние сети через межсетевой экран. ИВС в автоматическом режиме может обеспечивать передачу через локальную вычислительную сеть в ННЦ ХФТИ текущих и архивных данных о параметрах контроля и параметрах состояния оборудования.

Цифровая информация от систем АСКУ, в том числе из пульта управления, передается по интерфейсу Ethernet в ИВС с целью накопления и с возможностью отображения на мониторах СТСиО и АРМ НС.

На структурной схеме АСКУ приведены также связи между системами по сигнальным цепям и связи с датчиками (Д) и исполнительными механизмами (ИМ).

ФУНКЦИИ АСКУ ЯПУ

Пульт управления ЯПУ обеспечивает: задание режимов работы АСКУ ЯПУ; контроль параметров состояния ЯПУ; дистанционное автоматизированное управление исполнительными механизмами систем АСКУ ЯПУ; выдачу

сигналов на включение/выключение и аварийный останов ЛУЭ; сигнализацию и оповещение, представление информации оперативному персоналу; регистрацию информации на устройствах печати.

В состав пункта управления АСКУ ЯПУ входят: пульт управления (ПУ) АСКУ, основной и резервный; АРМ НС; пульт управления СКПНП; автоматизированное рабочее место (АРМ) АСРК; АРМ АСКУ инженерных систем здания; пульт управления СУ МП; пульта управления СУ ЛУЭ.

Все пульта (АРМы), размещаемые в пункте управления, унифицированы по дизайну, конструктивному исполнению и укомплектованы мониторами с размером экрана 32" по диагонали.

Пульт управления АСКУ предназначен для реализации оператором общесистемных функций управления режимами АСКУ, а также функций управления и контроля технологическим оборудованием систем охлаждения первых и вторых контуров и бассейна выдержки. Реализует следующие группы функций:

1. Управление верхнего уровня (уровень ЯПУ). Для реализации функции предусматриваются:

1) автоматизированные процедуры управления ЯПУ для перехода из режима в режим;

2) команды управления: режимами работы СЗиБ, ИПС с ЛУЭ и СКПНП; снятие сигнала «Разрешение» на работу ЛУЭ с ПКС; приведение в исходное состояние элементов памяти СЗиБ — снятие блокировки на формирование и выдачу сигнала «Разрешение» в ИПС с ЛУЭ; вывод одного из двух каналов резервирования СЗиБ и ИПС с ЛУЭ

в опробование; разрешение на местное/ручное управление технологическим оборудованием (исполнительными механизмами); разрешение на проведение технологических операций.

Для управления используются специальные видеogramмы («панели автоматических циклограмм») и органы ручного управления для выдачи команд в систему защит и блокировок и в СКПП, которые соответствуют классу безопасности 2, включены в состав СЗиБ, но территориально находятся на ПУ АСКУ.

II. Управление на уровне систем. Предполагает выдачу команд управления оборудованием: первого контура охлаждения ПКС; первого контура охлаждения НОМ; второго контура охлаждения ПКС и НОМ; второго контура охлаждения ЛУЭ; бассейна выдержки.

Для каждой из систем на мониторе ПУ предусматривается отдельный видеокадр («панель») управления, включающий в себя: технологическую схему системы; органы дистанционного управления (задвижки, насосы, регуляторы); графики текущего изменения основных параметров системы.

III. Мониторинг состояния системы защит и блокировок, систем управления первыми, вторыми контурами охлаждения и системы контроля технологических параметров бассейна выдержки. Осуществляется на видеокадрах, отображающих: первопричину выдачи на центральную панель сигнализации СТСиО (на «транспаранты») сигналов предупредительной и аварийной сигнализаций; текущее значение технологических параметров (сигналы датчиков, уставки срабатывания защит); состояние исполнительных органов; диагностику оборудования систем.

IV. Ввод уставок срабатывания защит. Производится с пульта управления АСКУ или КПА в соответствии с регламентной документацией.

Уставки вводятся в систему защит и блокировок, в систему управления первыми контурами охлаждения, в систему управления вторыми контурами охлаждения, в СКТПБВ.

Ввод уставок допускается, когда контуры охлаждения и ЛУЭ не работают, и санкционируется поворотом ключа «НС» на ПУ АСКУ в положение «Р» с использованием видеogramмы ПУ АСКУ «Ввод уставок», которая обеспечивает выбор системы и поддерживает процедуру ввода уставок. Процедура назначения и ввода уставок определяется регламентной документацией и обеспечивает надежность ввода и хранения уставок.

Действия оператора ПУ АСКУ документируются средствами ИВС.

Каждый из двух пультов управления АСКУ (основной ПУ-О и резервный ПУ-Р) может выполнять все перечисленные ниже функции, но реально выполняет их тот пульт, который в данный момент имеет статус активного. Пульт, имеющий статус пассивного, в это время может выполнять только функции мониторинга.

Автоматизированное рабочее место начальника смены реализует:

1) мониторинг состояния всех систем АСКУ ЯПУ в согласованном с разработчиками этих систем объеме с использованием видеogramм, которые отображают технологические схемы систем, первопричины сигналов предупредительной и аварийной сигнализации, текущее значение технологических параметров, состояние исполнительных органов;

2) отображение на мониторе архивных данных, хранящихся в базе данных сервера ИВС: по технологическим параметрам (в том числе в виде графиков); по состоянию

исполнительных органов; по первопричинам предупредительной и аварийной сигнализации; по диагностике оборудования; по командам, выданным операторами с пульта управления (протоколы);

3) управление выводом на печать (принтер/плоттер) информации по п. 2.

Кроме того, для предупреждения развития событий, приводящих к аварии или угрожающих здоровью людей, АРМ НС обеспечивает возможность: останавливать ускоритель; останавливать движение МП; закрывать любой нейтронный канал; останавливать движение верхней плиты биологической защиты; блокировать открытие дверей в определенные помещения, чтобы предотвратить несанкционированный доступ; останавливать откачку жидких радиоактивных отходов; включать и выключать звуковую предупредительную сигнализацию в зале ПКС; выключать звуковую предупредительную сигнализацию в пультовой.

Действия начальника смены на АРМ документируются средствами ИВС.

Дополнительно на компьютер АРМ НС возложена функция сбора дискретных сигналов от всех систем АСКУ, преобразование их в цифровой вид и передача по каналу связи Ethernet в монитор № 1 (панель сигнализации) СТСиО.

Функции, реализуемые пультами и АРМ смежных систем, представлены ниже:

Пульты и АРМ	Группы функций
ПУ СКПП	III, IV (мониторинг состояния системы и ввод уставок) применительно к системе СКПП
АРМ АСРК	III, IV (мониторинг состояния системы и ввод уставок) применительно к системе АСРК
АРМ АСКУ ИС	II, III, IV (управление, мониторинг состояния и ввод уставок) применительно к системе АСКУ ИС
ПУ СУМП	II, III, IV (управление, мониторинг состояния и ввод уставок) применительно к системе СУМП с использованием двух мониторов, один из которых выполняет функции экрана телевизионной системы
Пульты управления СУ ЛУЭ	Функции пультов определяет разработчик СУ ЛУ

Устройства отображения информации коллективного пользования включают в себя систему технологической сигнализации и оповещения, настенные мониторы СУ ЛУЭ, настенный блок сигнализации о пожаре.

Функционально в состав СТСиО входят:

система сигнализации (СС), включающая панель сигнализации (ПС) — монитор № 1, звуковые технические средства и канал связи Ethernet с АРМ НС;

система отображения информации, включающая четыре монитора (№№ 2—5) и каналы связи Ethernet с сервером ИВС.

Панель сигнализации, реализуемая монитором № 1, отображает состояние всех систем АСКУ по обобщенным критериям. Состоит из «транспарантов», которые инициируются прямыми сигналами от систем АСКУ. Сигналы поступают в АРМ НС, преобразовываются в цифровой вид и по каналу связи Ethernet передаются в монитор № 1. Предупредительная и аварийная индикации сопровождаются звуковой сигнализацией.

Монитор № 2 отображает текущее состояние параметров безопасности установки; монитор № 3 — «дневник» событий установки (причины «зажигания» «транспарантов» на панели сигнализации); монитор № 4 — текущее состояние установки (контуров охлаждения и бассейна выдержки) на технологических схемах, выбор которых осуществляет оператор; монитор № 5 — графики изменения наиболее важных технологических параметров (по выбору оператора).

Мониторы №№ 2—4 получают информацию по локальной вычислительной сети ИВС. Таким образом, в СТСиО реализуется принцип разнообразия в представлении информации: панель сигнализации, реализуемая монитором № 1, представляет информацию независимо от ЛВС ИВС и ее сервера, а мониторы №№ 2—4 представляют информацию, пользуясь исключительно средствами ЛВС ИВС.

СТСиО выполняет функции предоставления информации оператору и обслуживающему персоналу при штатной эксплуатации, превышении нейтронно-физическими и теплогидравлическими параметрами ЯПУ критических значений, выдаче команд на аварийное выключение ЛУЭ, срабатывании технологических защит и блокировок, включении резервного технологического оборудования.

Функциональное назначение *настенных мониторов СУ ЛУЭ* определяет разработчик.

ФУНКЦИИ СИСТЕМ АСКУ

СЗиБ. Реализует логику защит и блокировок и выполняет следующие функции:

контроль с помощью собственных измерительных каналов за технологическими и теплофизическими параметрами контуров охлаждения;

определение выхода контролируемых технологических параметров за границы, заданные технологическими уставками, и формирование сигналов блокировок и тревог; прием сигналов блокировки и тревоги от сейсмотатчиков; контроль положения верхних секций (раздвижных створок) биологической защиты ПКС и ускорителя;

контроль положения дверей собственных шкафов и температуры в шкафах;

формирование и выдачу сигнала обобщенной блокировки в ИПС с ЛУЭ для формирования команды (сигнала) в СУ ЛУЭ на отключение ЛУЭ (прекращение работы ЛУЭ с ПКС);

выдачу сигнала «Блокировка от сейсмотатчика» (через ИПС с ЛУЭ) в СУМП;

формирование и выдачу аварийных и предупредительных сигналов и сигналов о состоянии (неисправности) собственного оборудования в СТСиО;

формирование информационного кадра, содержащего информацию о конкретных причинах, вызвавших появление сигналов блокировок и тревог, с последующей передачей его через ПУ в ИВС и далее на мониторы СТСиО;

изменение значений уставок формирования защит от оператора пульта управления либо от КПА;

контроль своего технического состояния: после включения питания; в процессе работы; периодически (при планово-профилактических работах ЯПУ в режиме технологического обслуживания АСКУ) при помощи КПА.

ИПС с ЛУЭ. Обеспечивает взаимодействие между СУ ЛУЭ и системами АСКУ по управляющим и информационным сигналам и выполняет следующие функции:

формирование и выдачу в СУ ЛУЭ команды (сигнала) «Разрешение» на включение/работу ЛУЭ с ПКС. При наличии сигнала «Разрешение» в двух каналах ИПС с ЛУЭ работа ЛУЭ с ПКС разрешена. При снятии сигнала «Разрешение» в обоих или в одном канале ИПС с ЛУЭ работа ЛУЭ с ПКС прекращается;

прием сигнала «ЛУЭ включен» из СУ ЛУЭ и выдачу его в СУМП для блокировки работы перегрузочной машины; выдачу сигнала «ЛУЭ включен» через АРМ НС в СТСиО на сигнализацию, а также в СЗиБ, СУ ОКО-I, СУ ОКО-II;

прием сигнала «Готовность/отказ ЛУЭ» из СУ ЛУЭ и выдачу его через АРМ НС в СТСиО на сигнализацию;

прием от СЗиБ и выдачу в СУМП сигнала «Блокировка от сейсмотатчика»;

прием обобщенных сигналов блокировок на выдачу сигнала «Разрешение» в СУ ЛУЭ от трех каналов СКПНП;

прием обобщенных сигналов блокировок на выдачу сигнала «Разрешение» в СУ ЛУЭ от СУ ОКО-I, СУ ОКО-II, АСРК и СЗиБ;

прием сигнала АЗ (блокировка выдачи сигнала «Разрешение» в СУ ЛУЭ) от АРМ НС;

прием сигналов режимов работы СЗиБ и ИПС с ЛУЭ, сигналов АЗ и сигнала взвода АЗ от ПУ АСКУ;

контроль своего технического состояния: после включения питания; в процессе работы; периодически (при планово-профилактических работах ЯПУ в режиме технологического обслуживания АСКУ) при помощи КПА;

выдачу информации в ПУ АСКУ (для последующей передачи в ИВС) в составе единого с СЗиБ информационного кадра.

СУ ОКО-I. Выполняет следующие функции:

управление (автоматическое и дистанционное) процессом охлаждения теплоносителя первых контуров охлаждения и контроль состояния запорно-регулирующей арматуры, насосов;

контроль давления теплоносителя, давления сжатого воздуха, расхода теплоносителя, температуры теплоносителя, уровня воды в баках, протечек в системе;

формирование сигналов о достижении значений контролируемых технологических параметров (давление, расход, температура, уровень) «тревожной» и «блокировочной» границ;

формирование и выдачу обобщенных сигналов о состоянии технологических параметров и оборудования для отображения и сигнализации в СТСиО;

формирование и выдачу в ИПС с ЛУЭ обобщенного сигнала блокировки для отключения ЛУЭ;

изменение значений уставок формирования защит от оператора пульта управления АСКУ либо от КПА;

контроль своего технического состояния: после включения питания; в процессе работы; периодически (при планово-профилактических работах ЯПУ в режиме технологического обслуживания АСКУ) при помощи КПА;

контроль положения дверей собственных шкафов и температуры в шкафах;
выдачу информации в ПУ АСКУ (с последующей передачей в ИВС).

СУ ОКО-II. Выполняет следующие функции:

контроль технологических параметров и состояния оборудования, формирование сигналов предупредительной и аварийной сигнализации при выходе контролируемых параметров за пределы уставок технологических защит;

подготовку и выдачу обобщенных сигналов о состоянии технологических параметров, исполнительных механизмов и собственного оборудования в СТСиО;

предоставление данных оператору о ходе технологического процесса на пульт управления;

управление процессом охлаждения теплоносителя первых контуров;

поддержание необходимого уровня в емкости охлаждающей воды и регулирование температуры охлаждающей воды в заданных пределах;

включение/отключение исполнительных механизмов по командам оператора с пульта управления и автоматическое включение/отключение исполнительных механизмов при реализации автоматизированных процедур установки режимов работы ЯПУ;

формирование обобщенного сигнала блокировки и выдача его в ИПС с ЛУЭ для отключения ЛУЭ;

изменение значений уставок формирования защит от оператора пульта управления АСКУ либо от КПА;

контроль своего технического состояния: после включения питания; процессе работы; периодически (при планово-профилактических работах ЯПУ в режиме технологического обслуживания АСКУ) при помощи КПА;

контроль положения дверей собственных шкафов и температуры в шкафах;

выдачу информации в ПУ АСКУ (с последующей передачей в ИВС).

СКТПБВ. Выполняет следующие функции:

контроль уровня воды в основной (БВ-1) и резервной (БВ-2) ёмкостях бассейна выдержки;

контроль уровня воды в дренажном баке;

контроль температуры воды в БВ-1 и БВ-2;

контроль расхода дистиллята в системе;

контроль протечек в приямках протечек БВ-1, БВ-2;

управление исполнительными механизмами по командам оператора с ПУ АСКУ;

автоматическое управление насосами возврата протечек из приямков БВ-1, БВ-2 по информации от датчиков контроля протечек;

формирование и выдачу обобщенных сигналов о состоянии технологических параметров, исполнительных механизмов и собственного оборудования в СТСиО;

формирование информации о состоянии технологических параметров и оборудования БВ, о достижении контролируемых параметров БВ предельных границ (предупредительная и аварийная сигнализация) и выдачу на пульт управления (в том числе для последующей передачи данных в ИВС);

изменение значений уставок формирования защит от оператора пульта управления АСКУ либо от КПА;

контроль своего технического состояния: после включения питания; в процессе работы; периодически (при планово-профилактических работах ЯПУ в режиме технологического обслуживания АСКУ) при помощи КПА;

контроль положения дверей собственных шкафов и температуры в шкафах.

ИВС. Выполняет следующие функции:
информационное объединение всех систем АСКУ;
архивирование информации АСКУ;
установку для всех систем единого времени;
выдачу информации в СТСиО для визуализации;
предоставление информации в АРМ НС и, при необходимости, в ПУ АСКУ.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ

Отметим, что объектом экспертных оценок является не одиночная ИУС, а по сути — АСУТП, поскольку АСКУ состоит из 12 различных ИУС, которые обеспечивают управление всеми технологическими процессами ЯПУ.

Регулирующая деятельность применительно к АСКУ ЯПУ включает в себя следующие аспекты:

разработку норм и правил, содержащих требования к АСКУ ЯПУ;

экспертную оценку (в части АСКУ) документов, обосновывающих безопасность ЯПУ в целом;

экспертную оценку документов, обосновывающих безопасность АСКУ ЯПУ.

Нормирование безопасности АСКУ ЯПУ. Деятельность, которая связана с внедрением АСКУ ЯПУ, лицензируется Государственной инспекцией ядерного регулирования Украины в соответствии с Законом Украины «О разрешительной деятельности в сфере использования ядерной энергии» [1].

Базовые требования к обеспечению безопасности ЯПУ содержатся в НП 306.2.183 «Общие положения безопасности ядерных подкритических установок» [2]. В этом документе (разработан при участии специалистов ГНТЦ ЯРБ, введен в действие приказом Государственной инспекции ядерного регулирования Украины № 56 от 12.03.2012, зарегистрирован в Министерстве юстиции Украины 27.04.2012 за № 640/20953) можно выделить следующие группы требований, относящихся к информационным и управляющим системам ЯПУ:

к управляющим системам безопасности;
системам нормальной эксплуатации;
автоматизированной системе контроля радиационной обстановки;
пункту управления.

В разделе, посвященном управляющим системам безопасности, установлены также требования к системе аварийной защиты. В АСКУ функции управляющих систем безопасности и аварийной защиты выполняются СЗИБ и ИПС с ЛУЭ.

ЯПУ должна быть оснащена следующими системами нормальной эксплуатации [2]:

системой контроля плотности нейтронного потока (в АСКУ эти функции выполняет СКПНП с расширенными функциями контроля реактивности);

системой управления ускорителем заряженных частиц (в АСКУ данные функции выполняет СУ ЛУЭ);

системой управления запорной и регулирующей арматурой контуров охлаждения ЯПУ (в АСКУ эти функции выполняет СУ ОКО);

информационно-вычислительной системой (предусмотрена в АСКУ);

системой управления транспортно-технологическими операциями (в АСКУ данные функции реализует СУМП).

Также в АСКУ предусмотрено наличие пункта управления и автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК), что соответствует требованиям [2].

Отметим, что в НП 306.2.183 [2] содержатся только общие требования по обеспечению безопасности ИУС ЯПУ, а иных норм, правил и стандартов, в которых были бы регламентированы детальные технические требованиями к ИУС ядерных подкритических установок, в Украине не существует. Поэтому при разработке, испытаниях, внедрении и оценке безопасности АСКУ ЯПУ рекомендуется руководствоваться требованиями норм, правил и стандартов, содержащих требования к ИУС АЭС, в частности [3, 4].

В связи с тем, что в настоящее время осуществляется подготовка к введению в действие двух новых нормативных документов [5, 6] взамен НП 306.5.02/3.035, целесообразно также при разработке АСКУ ЯПУ учитывать требования проектов указанных нормативных документов.

Экспертные оценки документов, обосновывающих безопасность АСКУ ЯПУ. Особенность экспертизы АСКУ ЯПУ заключается в том, что предметом экспертной оценки являются два типа документов: 1) документы, обосновывающие безопасность ЯПУ в целом, в которых содержатся отдельные разделы, относящиеся к АСКУ; 2) документы, обосновывающие безопасность непосредственно АСКУ ЯПУ.

В 2012 г. ГНТЦ ЯРБ по заданию Государственной инспекции ядерного регулирования Украины были выполнены экспертизы следующих документов, обосновывающих безопасность ЯПУ в целом:

«Ядерная подкритическая установка «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемый линейным ускорителем электронов». Проект» (далее — проект ЯПУ) [7];

«Ядерная подкритическая установка «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемый линейным ускорителем электронов». Предварительный отчет по анализу безопасности» (далее — ПОАБ ЯПУ) [8].

В указанных документах содержались разделы, посвященные АСКУ ЯПУ, однако только с общей информацией по составу, структуре, функциям АСКУ и ее компонентов.

Помимо этого предусмотрен выпуск и согласование с Государственной инспекцией ядерного регулирования Украины отдельного комплекта документов, обосновывающих безопасность непосредственно АСКУ ЯПУ.

К настоящему моменту выполнена экспертиза документа «Ядерная установка «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой ускорителем электронов» ННЦ ХФТИ. Автоматизированная система контроля и управления ядерной подкритической установки «Источник нейтронов». Техническое задание» [9]. По результатам экспертизы в целом подтверждено соответствие ТЗ требованиям [2, 3]. После устранения нескольких замечаний Государственная инспекция ядерного регулирования Украины согласовала указанный документ.

Особое внимание при проведении экспертных оценок следует уделить СУ ЛУЭ, которая разрабатывается по отдельному техническому заданию. СУ ЛУЭ должна обеспечить отключение ускорителя при любых нарушениях нормальной эксплуатации и авариях, а также управление мощностью исходного пучка заряженных частиц, частотой и продолжительностью электронных импульсов согласно установленным проектом ЯПУ требованиям. Важность

СУ ЛУЭ подтверждается недавними аварийными событиями от 23.05.2013 на исследовательской установке в Японии [10]. Причиной аварии стала неисправность генератора, который сгенерировал пучок протонов за очень короткий промежуток времени (5 мс при проектном значении 2 с), что привело к перегреву и повреждению облучаемой мишени. В ходе аварии генератор и ускоритель были отключены защитой, однако повторно ошибочно включены операторами. На последующих стадиях разработки и внедрения АСКУ объем проектных и обосновывающих безопасность документов должен быть расширен, в частности следует предоставить на рассмотрение следующие документы:

- проект АСКУ;
 - программу и методику приемочных испытаний АСКУ на площадке разработчика;
 - документы на этапе монтажа АСКУ: предварительный отчет по анализу безопасности (ПОАБ) АСКУ; программу и методику предварительных испытаний АСКУ в составе ЯПУ на площадке ННЦ ХФТИ; программу обеспечения качества разработки и внедрения АСКУ; план верификации программного обеспечения АСКУ; отчет по верификации программного обеспечения АСКУ; отчет по валидации АСКУ; проектную оценку надежности АСКУ (может быть представлена в составе проекта или ПОАБ); анализ реакции АСКУ на возможные отказы (может быть представлен в составе ПОАБ); анализ стойкости контуров управления и регулирования (в случае наличия);
 - документы на этапе ввода в опытную эксплуатацию АСКУ: документы (акты, протоколы) о результатах проведения монтажа и пусконаладочных работ; отчет о результатах предварительных испытаний АСКУ в составе ЯПУ; сведения о результатах метрологической аттестации измерительных каналов систем, которые входят в состав АСКУ; сведения об обучении персонала; программу опытной эксплуатации АСКУ; программу и методику приемочных испытаний АСКУ в составе ЯПУ;
 - документы на этапе ввода в промышленную эксплуатацию АСКУ: отчет о результатах опытной эксплуатации АСКУ; акт и протоколы приемочных испытаний АСКУ; окончательный отчет по анализу безопасности АСКУ.
- Таким образом, предусматривается выполнение оценки безопасности на всех этапах разработки и внедрения АСКУ ЯПУ.

Выводы

1. В АСКУ предусмотрен комплекс ИУС, включающий: пункт управления; управляющие системы безопасности; системы нормальной эксплуатации; автоматизированную систему радиационного контроля, которые обеспечивают контроль и управление всеми технологическими процессами ЯПУ.
2. По предварительным оценкам, АСКУ по составу и функциям отвечает базовым требованиям нормативного документа по обеспечению безопасности ЯПУ и иных норм, правил и стандартов по ядерной и радиационной безопасности. На последующих стадиях разработки и внедрения АСКУ должны быть разработаны и представлены детальные проектные и обосновывающие безопасность документы.

Список использованной литературы

1. Закон Украины № 1370-XIV «О разрешительной деятельности в сфере использования ядерной энергии» // Відомості Верховної Ради. — 2000. — № 9. — Ст. 68.
2. *НП 306.2.183–2012*. Общие положения безопасности ядерных подкритических установок / Государственная инспекция ядерного регулирования Украины. — К., 2012. — 67 с.
3. *НП 306.5.02/3.035–2000*. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций / Государственная администрация ядерного регулирования Украины. — К., 2000. — 85 с.
4. *ГНД 306.7.02/2.041–2000*. Методика оценки соответствия информационных и управляющих систем, важных для безопасности атомных станций, требованиям по ядерной и радиационной безопасности / М-во екології та природних ресурсів України — К., 2000. — 48 с.
5. Нормы и правила по ядерной и радиационной безопасности. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций: проект / Государственная инспекция ядерного регулирования Украины.
6. Информационные и управляющие системы, важные для безопасности атомных станций. Общие технические требования: проект / Миненергоугля Украины.
7. Ядерная подкритическая установка “Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемый линейным ускорителем электронов”. Проект. — Харьков: ООО «ХПКИ «ТЭП-СОЮЗ», 2012. — 2122 с.
8. Ядерная подкритическая установка “Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемый линейным ускорителем электронов”. Предварительный отчет по анализу безопасности. — Харьков: ННЦ ХФТИ, 2012. — 752 с.
9. Ядерная установка “Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой ускорителем электронов” ННЦ ХФТИ. Автоматизированная система контроля и управления ядерной подкритической установки “Источник нейтронов”. Техническое задание. — Харьков: ННЦ ХФТИ, 2012. — 117 с.
10. Accelerator Facility Accident Report. Incorporated Administrative Agency — Japan Atomic Energy Agency Inter University Research Institute — High Energy Accelerator Research Organization, 31 May 2013.

Получено 12.07.2013.