

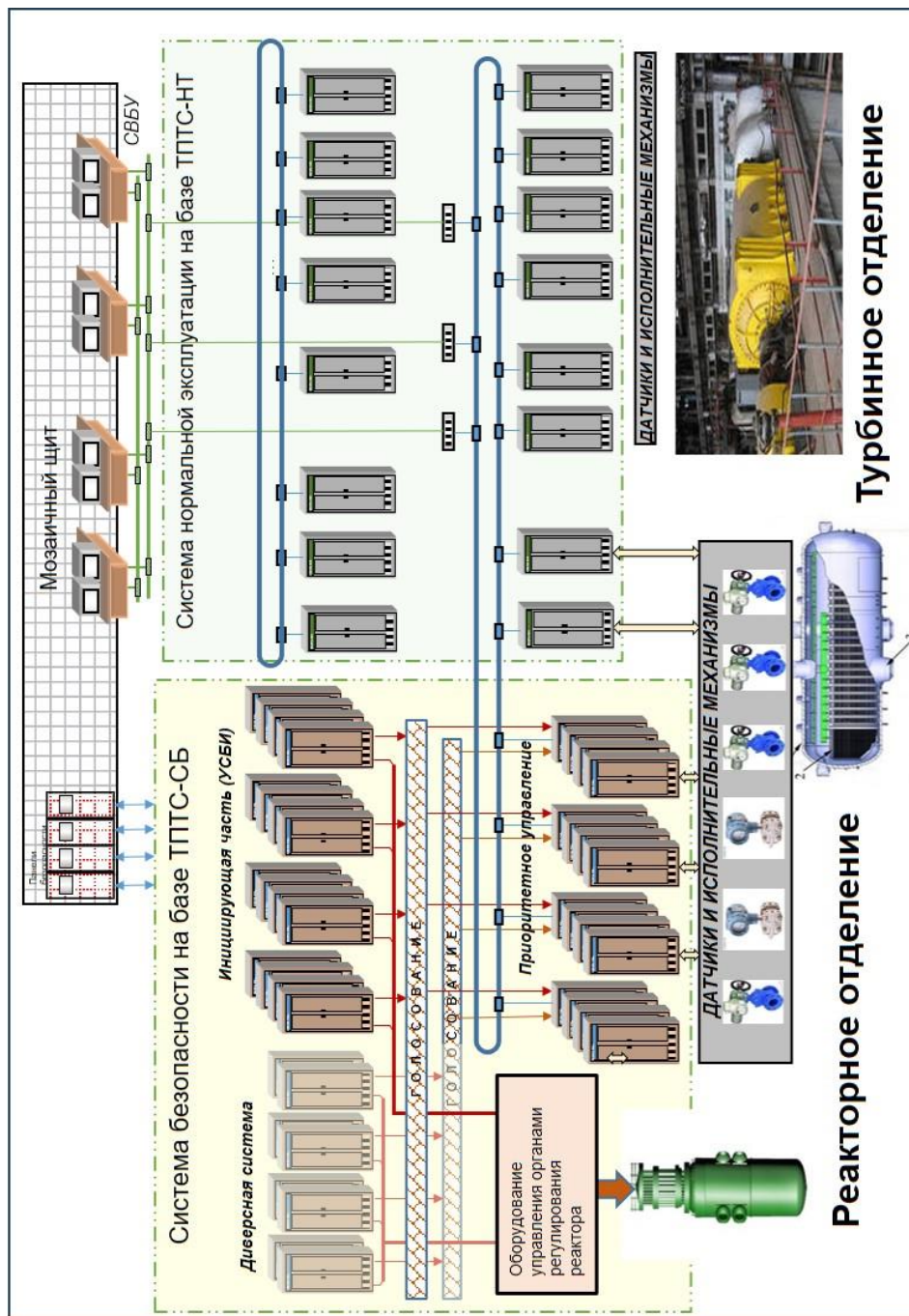
## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа посвящена разработке, организации серийного производства и внедрению комплексов средств автоматизации (КСА), составляющих оборудование программно-технических комплексов АСУ ТП атомных электростанций и других энергетических и промышленных объектов на основе отечественных технологий. При этом одновременно решается задача полного импортозамещения оборудования АСУ ТП АЭС.

К АЭС 3-го поколения с реактором ВВЭР-1200 предъявляются повышенные требования, обусловленные ужесточением требований по безопасности, возникшими после аварии на АЭС «Фукусима». Кроме того, постоянная работа над повышением экономических показателей АЭС требует повышения уровня автоматизации управления, связанного со спецификой управления ядерно-опасным объектом. Эта задача может быть решена только с помощью АСУ ТП, созданной на основе современной отечественной аппаратно-программной платформы, оптимально реализующей специальные задачи обеспечения эффективности и безопасности автоматизированного управления. Вышеприведенные факторы обуславливают **актуальность работы**

В результате представленной работы разработан **программно-аппаратный комплекс ТПТС**, включающий платформу ТПТС-НТ, реализующую функции нормальной эксплуатации и важной для безопасности, и платформу ТПТС-СБ, реализующую функции безопасности. Наличие двух платформ определяется требованием программно-аппаратного разнообразия между уровнями глубоко эшелонированной защиты.

Оборудование на основе платформ ТПТС составляет до 95% объёма оборудования низового программно-технического комплекса (ПТК) автоматического управления энергоблоком.



Одной из наиболее значимых систем, входящих в АСУ ТП энергоблока 3-го поколения, является **система контроля, управления и диагностики (СКУД)**.

Назначением СКУД является обеспечение ядерной и радиационной безопасности, надежности и эффективности реакторной установки (РУ) на этапе эксплуатации АЭС, в том числе за счет:

- проверки правильности загрузки активной зоны;
- качества и требуемого быстродействия управления мощностью и распределением энерговыделения в активной зоне;

- мониторинга и подтверждения прогнозной (расчетной) оценки показателей выгорания ядерного топлива в тепловыделяющей сборке (ТВС) в процессе топливной кампании;

- мониторинга соблюдения проектных ограничений по эксплуатации ядерного топлива;

- тарировки средств внезонного нейтронного контроля;

- соблюдения эксплуатационных пределов и условий безопасности;

- реализации концепции «течь перед разрывом»;

- оценки фактической долговечности материалов, изделий и ресурса основного оборудования.

Интегрально СКУД состоит из самостоятельных систем, объединенных общей задачей контроля и диагностирования состояния РУ с ВВЭР в процессе эксплуатации и соединяемых информационными потоками. В состав СКУД Белорусской АЭС входят следующие системы:

- система внутриреакторного контроля (СВРК);

- система комплексного анализа (СКА);

- система контроля течей теплоносителя первого контура (СКТ), состоящая из двух независимых подсистем акустического (САКТ — система акустического контроля течи) и влажностного (СКТВ — система влажностного контроля течи) контроля;

- система контроля вибраций (СКВ) основного оборудования;

- система обнаружения свободных и слабо закрепленных предметов в главном циркуляционном контуре (СОСП — система обнаружения свободных предметов);

- система автоматизированного контроля остаточного ресурса основного оборудования (САКОР).



аварийный останов реактора, и поддержания параметров РУ в пределах, определенных техническим проектом РУ.

В составе программного обеспечения ПТК и верхнего уровня ПТК КЭ СУЗ используется системное программное обеспечение (СПО) LiNEM, разработанное на основе Linux-подобной операционной системы и дополненное программами управления (драйверами) устройств ввода/вывода дискретных сигналов и цифровых каналов передачи данных. В качестве базового дистрибутива использовался дистрибутив ASPLinux.

**Система верхнего блочного уровня СВБУ** является подсистемой АСУ ТП энергоблока и предназначена для централизованного контроля за технологическими процессами на энергоблоке и передачи команд оператора по управлению оборудованием и механизмами нормальной эксплуатации энергоблока и оборудованием и механизмами систем безопасности, выполняющих функции безопасности и нормальной эксплуатации, а также решения общеблочных задач.

Основными целями создания СВБУ являются обеспечение:

- централизованного контроля и управления технологическим процессом;
- интеграция всей информации по энергоблоку от всех систем и подсистем АСУ ТП;
- дисплейного управления оборудованием систем нормальной эксплуатации и оборудованием систем безопасности в режимах, предусмотренных в проектной документации;
- централизованного контроля и представления, как обобщенной, так и детализированной информации о состоянии энергоблока, отдельных параметрах технологического процесса и состоянии оборудования (арматуры и механизмов);
- контроль состояния барьеров безопасности энергоблока;
- формирования интеллектуальной сигнализации о нарушениях в работе энергоблока, отдельных систем и оборудования, в том числе оборудования АСУ ТП;
- необходимой информацией внутреннего и внешнего аварийных центров АЭС;
- ведения архивов и протоколов событий;



последующего анализа аварийной ситуации и выяснения причин ее возникновения, путей развития, а также анализа действий персонала по ее локализации, ликвидации и предупреждению.

СРВПЭ функционирует во всех режимах нормальной эксплуатации, при всех видах проектных аварий, при запроектных авариях. В случае запроектных аварий, при которых нарушено поступление информации, СРВПЭ обеспечивает хранение и выдачу ранее зарегистрированной информации.

Все программное обеспечение представленных продуктов является отечественной разработкой

### **НОВИЗНА РАБОТЫ**

- 1) Впервые для АСУ ТП АЭС разработана и внедрена диверсифицированная программно-аппаратная платформа ТПТС-СБ со встроенным программно-аппаратным разнообразием, обеспечивающая защиту от единичного отказа и отказа по общей причине, не имеющая аналогов в мире.
- 2) Впервые в мировой практике в рамках платформы ТПТС-СБ реализованы интегрированные аппаратно-программные решения по одновременному управлению технологическим оборудованием системами безопасности и нормальной эксплуатации с обеспечением необходимого уровня независимости и приоритета.
- 3) Впервые создано инструментальное средство, обеспечивающее проектирование ПТК нормальной эксплуатации и безопасности на платформе ТПТС в одной инструментальной среде по единообразной технологии, что упрощает построение интегрированной АСУ ТП.
- 4) Для обеспечения достоверности кодов, вводимых в процессоры автоматического управления ТПТС, впервые реализован принцип обратного инжиниринга, реализующий обратное преобразование кодов процессора к исходному состоянию с последующим автоматическим сравнением с исходной информацией.
- 5) Впервые для верхнего уровня АЭС разработаны и реализованы алгоритмы предоставления оператору информации на разных уровнях глубокоэшелонированной защиты с сохранением идентичного информационного обеспечения.

- 6) Впервые в рамках АСУ ТП АЭС разработаны и внедрены алгоритмы программной реализации индивидуального и группового управления рабочими органами СУЗ для обеспечения повышенной безопасности эксплуатации энергоблока.
- 7) Впервые в рамках АСУ ТП АЭС разработаны и внедрены алгоритмы дополнительной автоматической защиты активной зоны при превышении «пиковых факторов» (линейной мощностью наиболее нагруженных ТВЭЛ, минимальным запасом до кризиса теплообмена) допустимых пределов.
- 8) Впервые в рамках АСУ ТП АЭС разработан и внедрен комплексный подход к обеспечению информационной безопасности, соответствующий IEC 62645 и техническим руководящим материалам МАГАТЭ в области компьютерной безопасности в ядерных установках.

Основные решения по созданным продуктам защищены патентами: № 2435238, №2438198, №2437176, № 2598649, № 2598599, № 2582875, № 2431174, № 2430400, № 2450305. Кроме того, некоторые решения защищены европейским и китайским патентами. Патент № 2598599 удостоен диплома Федеральной службы по интеллектуальной собственности в номинации «100 лучших изобретений России – 2016».

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ**

Разработан инновационный отечественный комплекс программно-аппаратных средств для построения современных и перспективных АСУ ТП атомных электростанций, отвечающий всем российским и международным требованиям. Разработанный аппаратно-программный комплекс является основой АСУ ТП перспективных российских проектов АЭС.

На основе разработанных программно-аппаратных средств создана и внедрена в промышленную эксплуатацию АСУ ТП двух энергоблоков Белорусской АЭС. На этой же основе создается АСУ ТП Курской АЭС-2 и АЭС «Руппур» (Бангладеш). Планируется применение в перспективных проектах в России и за рубежом: (3, 4 блоки Курской АЭС-2; 3, 4 блоки Ленинградской АЭС-2, Смоленская АЭС-2; АЭС «Бушер-2» (Иран), АЭС «Эль-Дабба» (Египет) и др.).



Организовано современное производство, обеспечивающее серийный выпуск современной электронной техники для АСУ ТП в объемах, достаточных для оснащения 2-3 атомных энергоблоков в год.

На основе разработанных программно-аппаратных средств разработаны передовые системные решения, которые внедрены и отработаны на двух энергоблоках Белорусской АЭС, и планируются к использованию в перспективных проектах.

### **ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И СОЦИАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТЫ**

- 1) За счет импортозамещения (ТПТС-СБ вместо Teleperm XS – AREVA, Франция) снижен объем оборудования систем безопасности с удешевлением поставки иницирующей части ~ в полтора раза. При этом устранен недостаток, связанный с отсутствием аппаратного разнообразия.
- 2) Себестоимости двухблочной АЭС только за счёт снижения стоимости поставки АСУ ТП снижена на 150-170 млн. \$.
- 3) Обеспечено исполнение контрактов РФ по сооружению АЭС за рубежом и выполнение планов строительства АЭС в РФ в условиях изменения внешнеполитической ситуации.
- 4) За счет вновь созданного производства современной электронной техники создано ~ 300 рабочих мест.
- 5) Значительно увеличены объемы гражданской продукции в организациях ядерно-оружейного комплекса Госкорпорации «Росатом».
- 6) Обеспечение электроэнергией населения и производственных предприятий Белоруссии.
- 7) Созданы новые рабочие места в Белоруссии.
- 8) Улучшение экологической ситуации за счет замещения генерирующих мощностей на угле и органическом топливе.
- 9) Возможность экспорта электроэнергии в зарубежные страны.