

**АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ КАЧЕСТВА КОМПЛЕКСА  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СУЗ  
ТРЕБОВАНИЯМ ПО КАЧЕСТВУ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫМ К  
ОБОРУДОВАНИЮ АЭС «КУДАНКУЛАМ»**

Настоящая статья посвящена анализу качества комплекса электрооборудования системы управления и защиты (СУЗ), входящего в состав АСУ ТП АЭС «Куданкулам» в Индии и являющегося многофункциональной системой, предназначенной для реализации функций защиты и управления реакторной установкой.

Требования по качеству для оборудования АЭС «Куданкулам» определены документом «Категории качества АСУ ТП. Классификация и применение» R01.КК.0.0.АР.КЛ.WD001, разработанным Генпроектантом АЭС на основании нормативного документа «Ростехнадзора» НП – 026 – 01 «Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций» и международных требований по качеству разработки и изготовления оборудования для АЭС.

Вышеуказанными документами определены категории качества оборудования и соответствующие требования к ним в зависимости от класса безопасности оборудования, который присваивается в соответствии со степенью влияния функций, выполняемых тем или иным видом оборудования, на безопасность эксплуатации реакторной установки (РУ).

При этом оборудование класса 2У (оборудование управляющих систем безопасности) относится к категории качества К2, а оборудование класса 3Н (оборудование систем нормальной эксплуатации важных для безопасности) – к категории качества К3+.

В состав комплекса электрооборудования СУЗ АЭС «Куданкулам» входит как оборудование класса 2У, так и оборудование класса 3Н.

К оборудованию класса 2У и, соответственно, к категории качества К2 относится оборудование исполнительной части аварийной и предупредительной защиты (АЗ-ПЗ), к оборудованию класса 3Н

и категории качества К3+ – оборудование группового и индивидуального управления приводами органов регулирования реактора (СГИУ), оборудование автоматического регулирования мощности реактора (АРМ) и оборудование информационно-диагностической сети (ИДС).

К оборудованию категории качества К2 и К3+ предъявляются следующие требования, которые должны быть подтверждены соответствующими доказательными документами в процессе разработки, изготовления и испытаний оборудования:

- структурное резервирование;
- разделение (независимость);
- наличие обнаружения отказов (самодиагностика);
- выполнение критерия единичного отказа;
- возможность периодического опробования в процессе эксплуатации;
- проведение анализа надежности;
- подтверждение устойчивости к внешним воздействующим факторам;
- подтверждение пожаробезопасности.

Выполнение требований структурного резервирования и разделения (независимости) в оборудовании исполнительной части АЗ-ПЗ реализуется за счет наличия двух идентичных независимых комплектов оборудования, получающих команды на срабатывание защиты от двух независимых комплектов иницирующей части АЗ-ПЗ, осуществляющих формирование команд по сигналам от двух независимых комплектов датчиков нейтронно-физических и технологических параметров. Два комплекта оборудования исполнительной части АЗ-ПЗ размещаются в двух различных помещениях, не поражаемых одновременно по общей причине.

Оборудование исполнительной части АЗ-ПЗ имеет в своем составе средства аппаратной диагностики, результаты которой выводятся для сигнализации на лицевые панели шкафов. Кроме того, в рамках информационно-диагностической сети осуществляется программно-аппаратная диагностика оборудования исполнительной части АЗ-ПЗ вплоть до сменного блока. По результатам диагностики формируются и передаются для сигнализации на блочный пункт управления (БПУ) обобщенные сигналы неисправности раздельно по каждому комплекту исполнительной части АЗ-ПЗ. Рас-

шифровка обобщенных сигналов осуществляется обслуживающим персоналом по видеокадрам на мониторах шкафов серверов.

Выполнение критерия единичного отказа, являющегося одним из основных для оборудования класса 2, также выполняется для оборудования исполнительной части АЗ-ПЗ, что подтверждается детальным качественным анализом структурных и схемотехнических решений: единичные отказы отдельных видов оборудования исполнительной части АЗ-ПЗ или их компонентов не приводят к отказу выполнения системой в целом функций защиты реактора.

Оборудование исполнительной части АЗ-ПЗ допускает проведение автоматизированных проверок оборудования в процессе работы реактора на мощности без нарушения его работы. Кроме того, для выявления скрытых отказов типа «залипания» силовых контакторов прерывателей питания приводов органов регулирования (ОР), являющихся потенциальными источниками отказов оборудования АЗ, требуется проведение периодических проверок оборудования.

На стадии разработки технического проекта проведен детальный качественный и количественный анализ надежности оборудования, определены количественные показатели надежности отдельных видов оборудования КЭСУЗ и подтверждено соответствие показателей надежности КЭСУЗ показателям, заданным в техническом задании.

Для оборудования класса 3 и категории качества КЗ+ требование структурного резервирования обеспечивается в рамках группового и индивидуального управления, автоматического регулирования мощности и информационно-диагностической сети за счет:

- наличия дублированных каналов управления каждым приводом ОР (канал автоматического и дистанционного управления);
- наличие резервированных средств представления информации по положению ОР;
- наличие дублированных каналов контроля положения ОР;
- наличия двух взаимно-дублирующих идентичных двухканальных регуляторов мощности АРМ;
- наличие в составе информационно-диагностической сети двух взаимно-дублирующих серверов, осуществляющих сбор, обработку, архивирование информации и передачу ее по дублированным каналам связи в систему верхнего уровня АСУТП.

Требование разделения (независимости) выполняется за счет:

- независимости двух регуляторов мощности АРМ, получающих информацию о нейтронно-физических и технологических параметрах РУ от двух независимых комплектов аппаратуры контроля нейтронного потока и датчиков технологических параметров;
- функционального разделения элементов оборудования системы группового и индивидуального управления и контроля положения, формирующих адресные и управляющие команды на движение ОР.

Все виды оборудования категории качества КЗ+ имеют в своем составе средства аппаратной и/или программно-аппаратной диагностики, результаты которой выводятся для сигнализации на лицевые панели шкафов и передаются по сетевым связям в информационно-диагностическую сеть, где по результатам обработки диагностической информации формируется и передается для сигнализации на БПУ обобщенный сигнал неисправности СГИУ. Расшифровка обобщенного сигнала с целью локализации неисправности осуществляется обслуживающим персоналом по видеокадрам на мониторах шкафов серверов.

Критерий единичного отказа для оборудования категории качества КЗ+ определяется следующим образом: «Система должна выполнять заданные функции при любом отказе активного элемента резервированного канала».

Под активным элементом для оборудования управления приводами ОР в первую очередь следует понимать элементы системы, формирующие управляющие команды на изменение мощности реактора. Анализ показывает, что наличие резервирования (многоканальности) устройств, формирующих управляющие команды, не позволяет потерять функцию управления мощностью реактора при отказе любого одного из каналов управления или его элемента.

Следует отметить, что важной для процесса управления информацией является информация по положению ОР реактора. При этом в рамках СГИУ дублируются как каналы контроля положения каждого ОР, так и средства индикации и представления оператору информации по положению ОР. Это позволяет считать критерий «единичного отказа» в толковании для оборудования категории КЗ+, выполненным в рамках оборудования СГИУ.

Оборудование СГИУ, автоматического регулирования мощности, оборудование информационно-диагностической сети за счет наличия средств аппаратной и/или программно-аппаратной диагностики, позволяющей в процессе эксплуатации (при работе реактора на мощности) осуществлять тестирование оборудования, выявлять его неисправные компоненты и заменять их на исправные.

Аналитическая оценка уровня надежности оборудования класса 3Н произведена на стадии технического проекта КЭ СУЗ АЭС «Куданкулам» и подтвердила заданные показатели надежности системы.

Способности оборудования выполнять свои функции при воздействии внешних климатических и механических факторов (температуры, влажности, коррозионно-активных компонентов окружающего воздуха, сейсмических воздействиях, воздействиях воздушной ударной волны, удару от падающего на здание самолета) и электромагнитных воздействий подтверждается в процессе квалификации оборудования. При этом к оборудованию различных классов безопасности и различных категорий качества предъявляются различные требования: более жесткие для оборудования класса 2 и менее жесткие для оборудования класса 3. Квалификация оборудования категорий 2-го и 3-го классов безопасности произведена в соответствии с рекомендациями МЭК 60780 и подтвердила соответствие оборудования заданным требованиям по устойчивости к внешним воздействующим факторам.

В соответствии с российской нормативной документацией в части пожарной безопасности вероятность возникновения пожара в оборудовании всех классов безопасности за год не должна превышать величины значения  $10^{-6}$ .

Определение вероятности возникновения пожара проводится с целью проверки соответствия уровня пожарной безопасности разработанного оборудования требованиям нормативной документации, выбора оптимального пожаробезопасного варианта, выявления "слабых" мест с точки зрения пожарной безопасности узлов, деталей, комплектующих изделий и блоков, разработки технических и организационных решений, снижающих пожарную опасность оборудования.

Подтверждение пожаробезопасности электрооборудования СУЗ АЭС «Куданкулам» проведено в рамках квалификации оборудования аналитическим путем.

Одним из наиболее важных вопросов разработки оборудования является верификации и валидации программного обеспечения программно-технических комплексов. Наиболее жесткие требования, оговоренные рекомендациями МЭК 60880, предъявляются к верификации валидации ПО оборудования, относящегося к классу безопасности 2.

В составе КЭ СУЗ АЭС «Куданкулам» отсутствуют программно-технические средства (компьютерные системы), относящиеся к классу безопасности 2. Программно-технические средства (компьютерные системы) в составе КЭ СУЗ АЭС «Куданкулам», относящиеся к категории качества К3+, являются ранее разработанным серийным оборудованием, процессы верификации и валидации которого были выполнены ранее, при разработке этого оборудования для других АЭС. Процессы верификации и валидации проводились для них с учетом основных положений рекомендаций МЭК 60880.

Большое влияние на качество оборудования оказывает контроль качества при изготовлении и порядок испытаний оборудования перед поставкой.

Все электрооборудование СУЗ, относящееся к категориям качества К2 и К3+, изготавливалось в соответствии с разработанной Программой обеспечения качества при изготовлении и Планами качества, определяющими контроль качества изготовления каждой единицы оборудования поэтапно: на каждой наиболее ответственной и влияющей на качество операции контрольной точке. Приемка каждой контрольной точки осуществляется не только службой технического контроля предприятия и представителями ВО «Безопасность», но и представителями иностранного Заказчика.

Порядок подтверждения функциональной способности (функциональных требований) электрооборудования СУЗ категорий К2 и К3+, определенных техническим заданием на КЭ СУЗ АЭС «Куданкулам», осуществляется:

- в процессе приемосдаточных испытаний отдельных видов оборудования;
- в процессе приемосдаточных испытаний КЭ СУЗ как законченной системы на стенде проверки функционирования.

Приемосдаточные испытания отдельных видов оборудования и КЭ СУЗ в целом проводятся по специально разработанным программам под надзором представителей ВО «Безопасность» и при участии представителей Генерального Заказчика и иностранного Заказчика.

Доказательные документы (протоколы приемосдаточных испытаний, протоколы испытаний КЭ СУЗ на стенде проверки функционирования, результаты квалификации оборудования) включены в состав формуляра на КЭ СУЗ, являющегося документом, сопровождающим комплекс электрооборудования СУЗ на протяжении всего жизненного цикла оборудования.

### **Выводы**

Проведенный анализ показывает, что комплекс электрооборудования СУЗ как система, входящая в состав АСУ ТП АЭС «Куданкулам», отвечает требованиям по качеству, предъявляемым к оборудованию АЭС «Куданкулам» по следующим признакам:

- классификации оборудования;
- архитектуре КЭ СУЗ и входящих в него функциональных подсистем и схемотехническим решениям реализации функций;
- критериям и принципам, предъявляемым к системам/оборудованию в соответствии с классом безопасности оборудования;
- проведенному в соответствии с МЭК 60780 процессу квалификации оборудования по устойчивости к внешним воздействующим факторам;
- порядку и качеству изготовления и контроля качества изготовления;
- объему проведенных испытаний на территории ФГУП «НПП ВНИИЭМ».

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что политика качества ФГУП «НПП ВНИИЭМ» в области разработки и изготовления оборудования для АЭС полностью соответствуют предъявляемым требованиям по качеству.