

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРИКЛАДНОГО ПО УСВБ ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКА №2 БЕЛОРУССКОЙ АЭС С РАЗРАБОТКОЙ ПОДХОДОВ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТОВ РУ ВВЭР

А.В. Кирсанов, М.А. Подшибякин, Д.А. Тращенко

В рамках разработки УСВБ для Белорусской АЭС (энергоблок №2) АО ОКБ «ГИДПРОПРЕСС» провел интегральное тестирование ППО для систем аварийной защиты, управляющих систем безопасности технологических и предупредительной защиты реакторной установки.

Интегральное тестирование ППО является одним из этапов создания УСВБ и проводится с целью выявления ошибок в ППО, а также для подтверждения соответствия ППО технологическим алгоритмам, описанным в задании на автоматизацию по методике «черного ящика» путем задания всех входных сигналов баз данных ППО УСВБ (с последовательным их изменением по определенным правилам) и с последующей проверкой изменения выходных сигналов моделей ПТК ТПТС-СБ и ТПТС-НТ.

ППО УСВБ представляет собой базы данных, содержащие программную, написанную на языке программирования STEP, и визуальную части, представляющую из себя набор диаграмм. Программная часть описывает логику работы модулей, из которых строится система, связь между диаграммами, протоколы пересылки сигналов внутри системы. Визуальная часть представляет из себя диаграммы состоящие из логических модулей, написанных на языке STEP. Всего базы данных содержат более 16000 диаграмм, в которых прописана логика работы УСВБ.

Тестирование проводилось на статической модели, то есть без учёта реакции объекта управления в симуляторе САПР GET-R1. В ходе тестирования запускались заранее составленные сценарии, в процессе выполнения которых изменялись значения входных сигналов от значений, соответствующих работе РУ на 100% мощности до значения уставки активации функций УСВБ. Для каждой функции были составлены сценарии, вызывающие формирование выходных сигналов на исполнительные механизмы согласно алгоритму функции. На каждую комбинацию формирования выходных сигналов, в зависимости от изменения входных сигналов, были составлены отдельные сценарии. Результат работы сценариев записывался в протоколы, отдельный для каждого сценария. Запись в протокол велась с частотой 10 записей в секунду, в каждом протоколе, соответствующем сценарию, формировалась детальная матрица состояний сигналов, участвующих в тестировании.

По данным из протоколов можно определить, какие выходные сигналы были сформированы, какие функции и в какой последовательности (с учетом элементов задающих временные интервалы в алгоритмах ППО УСВБ) были активированы. Это позволяет проанализировать ППО УСВБ на предмет его корректной или некорректной работы (с точки зрения его соответствия верифицированному технологическому заданию). Для активации функций, реализуемых ППО, скрипт (сценарий изменения входных сигналов) разрабатывался с учетом структурной взаимосвязанности функций УСВБ между собой, обусловленной многократным, повторным использованием входных сигналов. Такое применение входных сигналов обусловлено совмещением иницирующих частей системы АЗ и УСБТ. Согласно существующей программе и методике тестирования проверка совместной работы АЗ-УСБТ и ПЗ не проводится. Данное ограничение введено из-за отсутствия критерия проверки совместного функционирования ПЗ и АЗ-УСБТ, а также проверенной функциональной возможности симулятора GET-R1 выполнять совместную проверку моделей ПТК ТПТС-СБ и ТПТС-НТ. Кроме того, существующая программа и методика нацелена на проверку только соответствия функционирования ППО (указанных выше систем) верифицированному

технологическому заданию и не учитывает непосредственно результаты расчетных обоснований, выполненных в составе технического проекта РУ, что в определенной степени ограничивает формирование дополнительных критериев проверки, а значит уменьшает представительность результатов тестирования.

Для снятия вышеописанных ограничений и с учетом новых функциональных возможностей GET-R1 были проработаны подходы по применению результатов расчетных обоснований ТП РУ и совместного тестирования моделей ПТК ТПТС-СБ и ТПТС-НТ, реализующих функции АЗ-УСБТ и ПЗ соответственно.

Первый подход основан на применении результатов расчетов, выполненных для отчетов обоснования безопасности для составления сценариев изменения входных сигналов. Были проанализированы документы из состава 15 главы ПООБ. В частности, был рассмотрен предварительный отчет обоснования безопасности для энергоблока №2 Белорусской АЭС (далее ПООБ). Из отчёта были взяты сценарии протекания проектных аварий, в частности графики изменения физических величин, которые соответствуют входным сигналам ППО УСВБ по достижению уставок которых, формируются сигналы на исполнительные механизмы. Данный подход позволяет оценить функционирование ППО систем с учетом расчетных значений задаваемых параметров (входных сигналов) и изменением входных сигналов с привязкой к времени полученному из результатов расчетов.

Сложность полноценного применения данного подхода заключалась в том, что, в большинстве сценариев ПООБ рассматривается наихудший вариант протекания аварии, когда не учитывается первый сигнал на срабатывание АЗ, а дальнейший анализ проводится по второму сигналу на срабатывание АЗ. Данный функционал полноценно не реализуем в условиях статической модели и в симуляторе GET-R1 поскольку нет возможности учесть обратную связь, получаемую от объекта автоматизации или его модели.

Также в ПООБ представлены не все величины входящие в перечень входных параметров. Для части входных сигналов результаты расчётов найти не удалось, либо они не требуются с точки зрения достаточности расчетного обоснования в части теплогидравлических расчетов (например, электротехнические или нейтронно-физические параметры).

Второй подход заключается в применении расчетных данных, получаемых не только из анализов безопасности, а в том числе других расчетных обоснований, в частности, например, анализов динамической устойчивости и пр. Новые критерии позволят расширить зону покрытия тестов, объединив тестирование моделей ПТК АЗ-УСБТ и ПЗ. Применение различных расчетных обоснований ТП РУ позволит сформировать новые критерии которые позволят как расширить зону покрытия тестами ППО (тестирование совместной работы ППО АЗ-УСБТ и ПЗ), так и повысить достоверность проводимых тестов опираясь на результаты расчетных обоснований ТП РУ.

В процессе проведения тестирования прикладного по УСВБ для энергоблока №2 Белорусской АЭС было сделано несколько дополнительных, пробных тестов по новой методике. Для однозначности результатов был выбран сценарий аварии «Нарушение в системе питательной воды, приводящее к снижению температуры питательной воды», где учитывается срабатывание АЗ по первому сигналу. Был составлен сценарий для проверки на симуляторе GET-R1. Согласно сценарию из-за падения температуры питательной воды, происходит рост мощности реактора и по факту увеличения плотности нейтронного потока до 107%, в результате должна сработать АЗ. Так же, согласно расчётам, должны сработать функции отключения элементов системы нормальной эксплуатации, запуск аварийного энергоснабжения, активация БРУ-А. При анализе протоколов симуляции было выявлено срабатывание вышеуказанных функций в моменты времени, обозначенные в

расчётах протекания аварии. Результаты проверки сценария показывают эффективность данных подходов.

Совместное применение подходов с использованием расчетных обоснований ТП РУ, должно позволить составлять сценарии для тестирования ППО, основанные не только на структуре и описании технологического задания, но и на расчетных данных, с учетом изменения величин параметров во времени. Возможно, потребуется проведение дополнительных расчётов, которые позволят более эффективно и детально проводить тестирование ППО АЗ-УСБТ и ПЗ.

Данная работа проводилась с целью повышения качества проводимых работ по тестированию. Данные подходы увеличивают скорость тестирования, так как отпадает необходимость проверки комплектов 1 и 2 АЗ-УСБТ и ПЗ по отдельности. За счёт совместного тестирования иницирующих частей АЗ-УСБТ, ПЗ удаётся достичь большего покрытия сигналов и позволяет обнаружить ранее скрытые ошибки.

Список сокращений

АЗ	- аварийная защита
ВВЭР	- водо-водяной энергетический реактор
ПЗ	- предупредительная защита
ПО	- программное обеспечение
ПООБ	- предварительный отчёт обоснования безопасности
ППО	- прикладное программное обеспечение
ПТК	- программно-технический комплекс
РУ	- реакторная установка
САПР	- система автоматизированного проектирования
ТП	- технический проект
ТПТС-НТ	- типовые программно-технические средства для систем нормальной эксплуатации и систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности
ТПТС-СБ	- типовые программно-технические средства, системы безопасности
УСБТ	- управляющая система безопасности технологическая
УСВБ	- управляющие системы важные для безопасности