

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ МВИ КСУ ТС С ПРИМЕНЕНИЕМ ММ ЯЭУ

Зотов Игорь Сергеевич (инженер-конструктор 1 категории)

Эзекв Алексей Геннадьевич (заместитель начальника подразделения)

Гроздов Евгений Сергеевич (инженер-конструктор 1 категории)

Левин Максим Владимирович (инженер-конструктор 2 категории)

АО «ОКБМ Африкантов»

Курдюков Иван Иванович (инженер-конструктор)

АО «СПМБМ «Малахит»

Одна из основных задач разработки современных ЯЭУ – повышение уровня их безопасности и надежности. Достичь этой цели можно в частности за счет повышения качества комплексных систем управления техническими средствами (КСУ ТС) и особенно встроенного (функционального) программного обеспечения.

Разработка функционального программного обеспечения (ФПО) КСУ ТС представляет сложную задачу. Сложность её заключается не столько в необходимости обеспечения параллельной и взаимосвязанной работы частей программного обеспечения, обслуживающих взаимосвязанное функционирование множества подсистем ЯЭУ, сколько необходимость обеспечения высокой надёжности и безопасности работы ФПО и всей системы управления (СУ), в том числе при наличии отказов аппаратуры системы управления. В технологии создания высоконадежного и безопасного ФПО важную роль играет математическая модель внешней по отношению к ФПО среды, которую можно представить как совокупность моделей технических средств ЯЭУ и аппаратуры системы управления.

Модель является средством генерации потока входных данных на отлаживаемое программное обеспечение (ПО). Она же воспринимает управляющую информацию, порожденную ФПО, и обеспечивает реакцию на неё моделей объекта управления точно таким образом, как на неё реагирует реальная система.

Можно выделить следующие направления использования математического моделирования на стадиях проектирования КСУ ТС, отличающиеся требованиями к процессу моделирования ЯЭУ.

1. На этапе разработке алгоритмов необходимо оценивать их взаимно согласованное выполнение для проверки проектных решений в штатных и нештатных ситуациях и получения характеристик динамических процессов. Модели объекта управления и СУ в этом случае могут быть различной сложности и ориентированы на решение частных задач. Готовое ФПО, как правило, на проектной стадии отсутствует – разрабатывается параллельно, поэтому необходимо иметь инструмент для моделирования алгоритмов и запуска моделей на универсальных ЭВМ. При этом нет необходимости моделировать аппаратуру системы управления (см. рис 1а).

Применение математической модели позволяет проводить проверки целостности и непротиворечивости алгоритмов управления.

Принципиально важно, что на этом этапе от модели не требуется работа в реальном времени, необходима лишь синхронизация модели объекта управления и модели СУ.

2. Математическое моделирование широко применяется для генерации отладочных заданий при тестировании ПО. Необходимо его применение и при отладке и испытаниях от-

дельных систем из состава КСУ ТС. При этом имитация потоков внутренних данных и команд ПО должна учитывать наличие в КСУ ТС межсистемного обмена и контуров управления с обратной связью, то есть включать соответствующие модели объектов управления и смежных систем управления. В этом случае не испытываемые части КСУ ТС заменяются соответствующими им моделями (см. рис 1б).

Внедрение математического моделирования на данном этапе позволяет контролировать корректность совместной работы различных систем, входящих в состав КСУ ТС, оценивать качество регулирования в переходных режимах

3. Моделирование работы ЯЭУ при испытаниях КСУ ТС. Как правило, при таких испытаниях невозможно запустить в реальную работу объект управления, так как он еще не готов, или по соображениям безопасности. Здесь наличие реальной аппаратуры КСУ ТС обязательно, так как целью моделирования является проверка физических и программных связей между всеми элементами аппаратного комплекса и правильность его совместного с ФПО функционирования во всех возможных режимах работы установки. Глубина и точность моделирования в этом случае определяется перечнем контролируемых параметров и перечнем дистанционно управляемой арматуры и механизмов, входящих в состав ЯЭУ.

Использование реальной аппаратуры определяет необходимость работы в реальном масштабе времени, что должно быть обеспечено соответствующей скоростью расчета модели объекта управления.

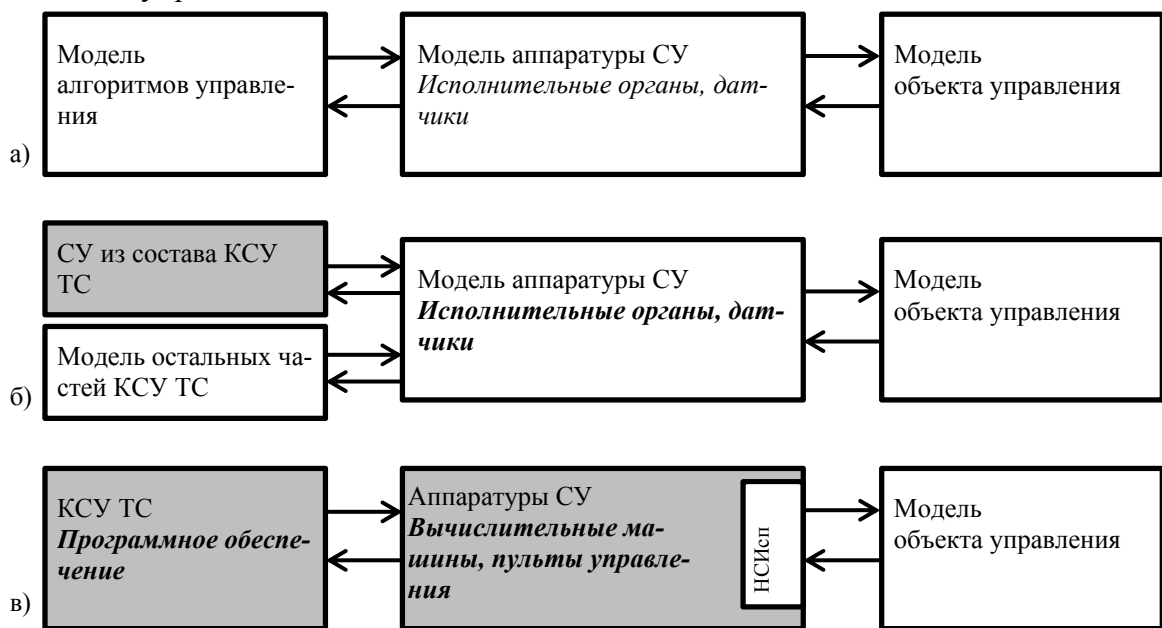


Рисунок 1. Схема математического моделирования на стадиях проектирования (а), испытания отдельных систем (б), испытания КСУ ТС (в).

В целом применение математических моделей разной степени детализации на этапах проектирования и изготовления КСУ ТС позволяет значительно сокращать сроки проведения пуско-наладочных работ на объекте. Поэтому при проведении межведомственных испытаний (МВИ) ряда КСУ ТС транспортных ЯЭУ были применены математические модели объекта управления.

Для этого АО «ОКБМ Африкантов», совместно с АО «СПМБМ «Малахит» и АО «Концерн «НПО Аврора» была разработана технология стендовой отладки КСУ ТС. Математические модели ЯЭУ были созданы на базе сопряженных кодов "улучшенной оценки", с помощью которых можно выполнять реалистичное моделирование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов в активной зоне реактора и процессов ЯЭУ в целом, при этом обеспечивая требуемую степень детализации и скорость расчета, превышающую реальное время. Основой для создания технологии стал программный комплекс на базе САПР SimInTech и расчетного кода RASPAR 2.

RASPAR 2 был применен для создания модели ЯЭУ, которые представляет собой комплексную всережимную математическую модель динамики, воспроизводящую в реальном масштабе времени взаимосвязанные нейтронно-физические, теплогидравлические, механические, электромеханические процессы, протекающие в системах и оборудовании установки. Пример визуального представления расчетных схем приведен на рисунке 2.

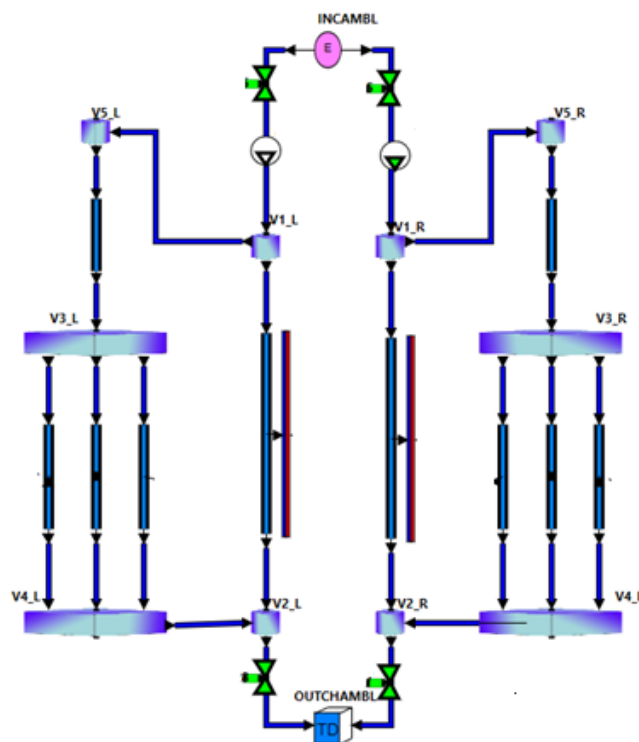


Рисунок 2. Графическое представление теплогидравлической модели

SimInTech был применен для создания моделей систем управления, обеспечения связи с нестандартизированными средствами испытаний (НСИсп) и как инструмент управления расчетом и задания различных вводных (отказы оборудования, неисправности датчиков и т.д.). Пример реализации модели алгоритма управления приведён на рисунке 3.

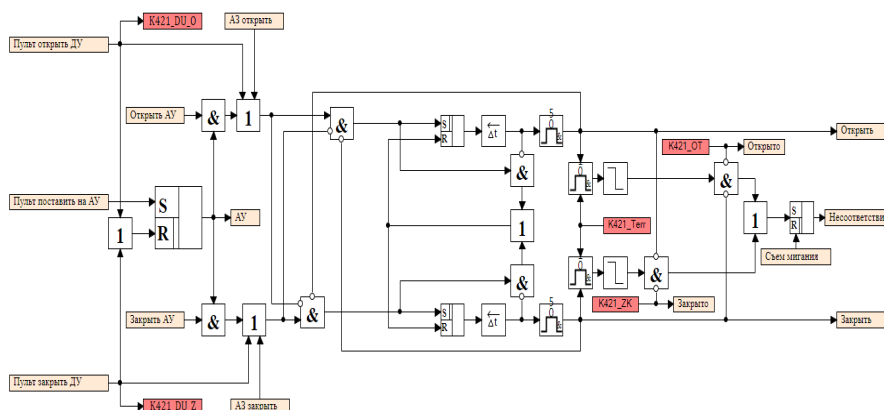


Рисунок 3. Пример реализации алгоритма управления в среде SimInTech

Модели объекта управления и СУ совместно разработаны специалистами АО «ОКБМ Африкантов» и АО «СПМБМ «Малахит».

Отладка и испытания КСУ ТС проводилась на территории АО «Концерн «НПО Аврора», где был создан специализированный стенд, в состав которого вошли:

- аппаратура и программное обеспечение КСУ ТС ЯЭУ, подготовленные для поставки на корабль;
- аппаратура и программное обеспечение СУЗ;
- математическая модель ЯЭУ;
- математическая модель ряда систем управления;
- средства задания аварийных вводимых;
- НСИсп, связывающие модель объекта управления с аппаратурой системы управления.

Общая схема стенда приведена на рисунке 4.

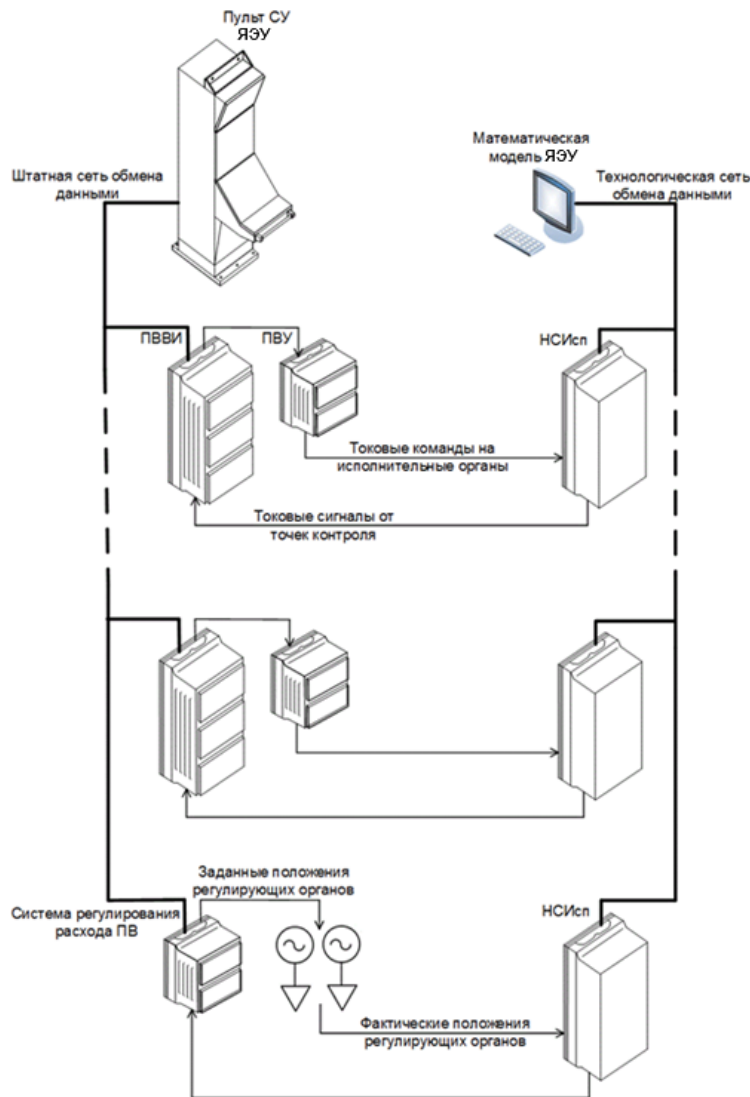


Рисунок 4. Общая схема испытательного стенда

Математическая модель ЯЭУ включала следующие составные части:

- модель паропроизводящей установки (ППУ);
- модель паротурбинной установки (ПТУ);
- модель вспомогательных систем;
- имитаторы (модели) СУЗ, СУ питательной водой, СУ параметрами ПТУ.

Присутствие в составе математической модели имитаторов СУ, входящих в КСУ ТС, позволило проводить стендовую отладку при различном составе аппаратуры. Аппаратура СУ могла быть оперативно заменена моделями в случае ее отсутствия, что значительно повысило гибкость системы в целом. Кроме того, это позволило оперативно проводить оценку предлагаемых изменений в части законов регулирования для определения целесообразности внесения корректировок в программное обеспечение СУ.

НСИсп были разработаны и изготовлены силами АО «Концерн «НПО Аврора». Они преобразуют сигналы от точек контроля, получаемые от модели, в токовые значения, передают их в аппаратуру СУ и выполняют обратное преобразование для сигналов управления из СУ.

В процессе испытаний проверялось соответствие алгоритмов, выданных для реализации ЦКБ-проектантом и алгоритмов, реализованный в СУ ЯЭУ, а также полнота и непротиворечивость разработанных алгоритмов. В процессе выполнения проверок с применением математической модели были пройдены все динамические режимы, предусмотренные алгоритмами СУ ЯЭУ. Эти режимы включают в себя ввод, маневрирование мощностью, изменение режимов работы, отработку по сигналам отказов оборудования ЯЭУ, компенсацию ошибочных действий оператора и вывод ЯЭУ из действия с применением различных комбинаций каналов расхолаживания при сопутствующих неисправностях в СУ ЯЭУ. По результатам выполнения проверок было выявлено большое количество замечаний. Их можно разделить на следующие группы:

- неполное соответствие реализованного алгоритма проектному;
- несоответствие сигналов межсистемного обмена различных СУ;
- недостаточность временных выдержек на формирование различных признаков и значений уставок;
- некорректная работа видеокадров.

Применение математической модели позволило выявить ошибки и в проектных алгоритмах, а так же сформулировать предложения по их совершенствованию.

Выявление и устранение указанных недоработок на этапе МВИ, должно положительным образом отразиться на сроках проведения ШИ и КШИ и повысить надежность СУ.