

Ядерная энергетическая установка (ЯЭУ) – ответственная составная часть корабля, во многом определяющая его тактико-технические характеристики. ЯЭУ – это многофункциональный динамический объект с многоуровневой иерархической структурой, включающий в себя ряд сложных систем, в состав которых входят различные по принципам работы и выполняемым функциям технические средства. В работе над их созданием задействованы научные и промышленные организации различных отраслей, взаимодействующие в тесной кооперации. Процесс создания ЯЭУ является итерационным; изменения в проекте одного из участников могут привести к необходимости внесения корректировок и повторному обоснованию принятых решений у остальных. Зачастую достаточно полное представление о работе изделия в комплексе можно получить только на поздних стадиях разработки, когда внесение даже небольших изменений может приводить к значительным временным и финансовым затратам.

Для оптимизации процесса создания, сопровождения и эксплуатации ядерных энергетических установок с учетом современных тенденций развития технологий НИЦ «Курчатовский институт» явился инициатором и в кооперации с предприятиями-проектантами: АО «ЦКБ МТ «Рубин», АО СПМБМ «Малахит», АО «ОКБМ Африкантов», ПАО «КТЗ», АО «Концерн НПО «Аврора» – создал и внедрил технологию разработки цифровых двойников ядерных энергетических установок на основе комплексных математических моделей реального времени, объединяющих нейтронную физику, теплогидравлику, электроэнергетику и алгоритмы управления.

Цифровой двойник позволяет моделировать работу ядерной энергетической установки в режимах нормальной эксплуатации и в большом спектре нештатных и аварийных ситуаций, связанных с несанкционированным изменением реактивности, снижением теплоотвода, потерей теплоносителя или отказами различного оборудования.

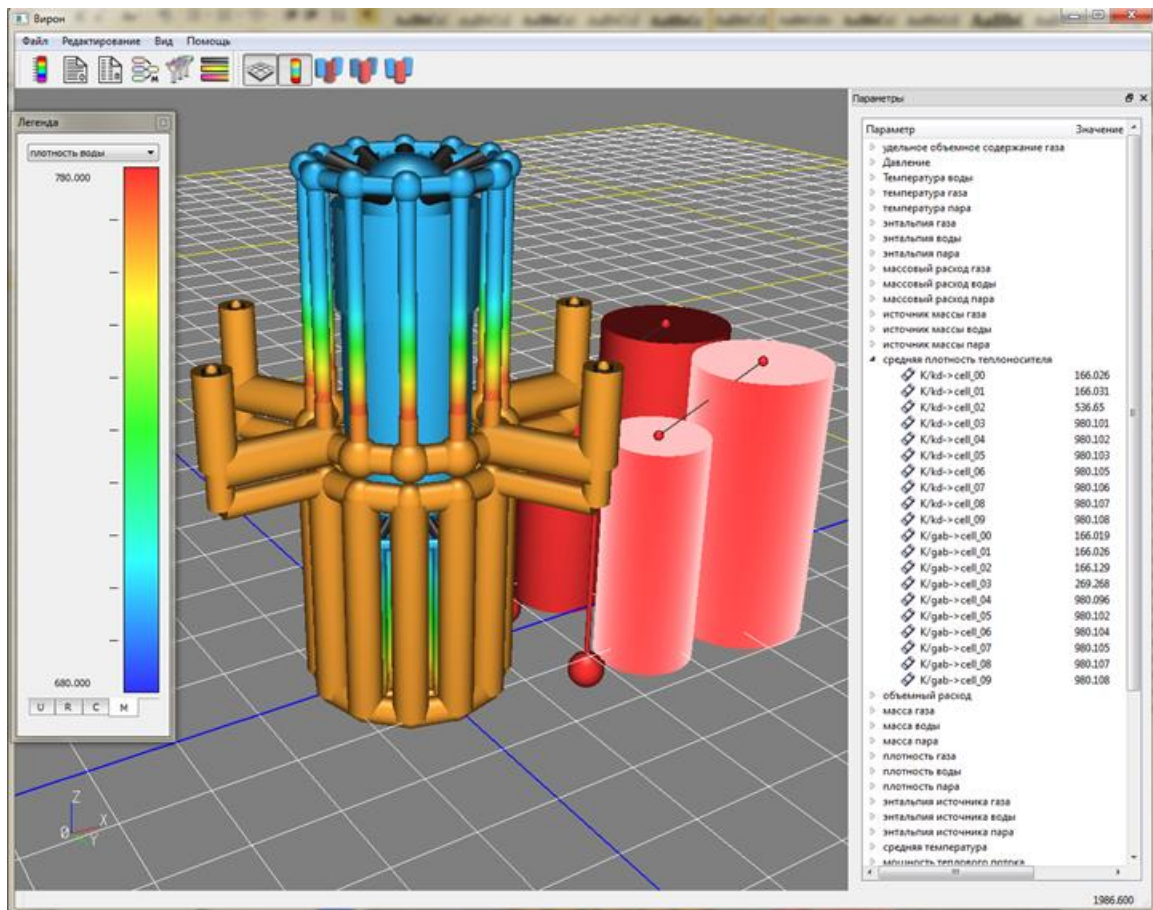


Рисунок 1 – Пример расчетной схемы системы первого контура

Разработка цифрового двойника выполняется с использованием теплогидравлического расчётного кода улучшенной оценки. При описании нестационарных, неравновесных процессов в коде используется многоскоростная трёхфазная модель течения, позволяющая проводить анализ переходных и аварийных режимов, в том числе связанных с потерей теплоносителя. Пример расчетной схемы первого контура приведен на рисунке 1.

Цифровые двойники верифицированы по данным уникальной экспериментальной базы, накопленной НИЦ «Курчатовский институт» при проведении регистрации параметров ЯЭУ головных и модернизируемых заказов ВМФ в рамках комплексных швартовных и ходовых испытаний.

Научно-техническая новизна и практическая значимость работ заключается в следующих результатах:

1) Разработана технология сопряжения цифрового двойника со штатной аппаратурой КСУ ТС.

2) Созданы программно-аппаратные комплексы для разработки алгоритмов и отладки систем управления ЯЭУ проектов 09851, 949АМ и 11442М и проведены совместные испытания функционального программного обеспечения комплексной системы управления ЯЭУ с применением ПАК. Результаты испытаний системы управление проекта 949АМ были использованы на заказе проекта 09852 и позволили успешно, в максимально сжатые сроки, провести комплексные швартовные испытания, учитывая проведение таких сложных режимов, как перекрёстный и смешанный режимы.

3) Разработана технология сопряжения цифрового двойника с полномасштабными имитаторами пультов управления для создания учебно-тренировочных средств, в том числе оснащённых системой подвижности.

4) На основе цифровых двойников ЯЭУ созданы учебно-тренировочные средства для 2-го и 3-го поколений проектов 667БДР, 667БДРМ, 941У, 945А, 949А, 971, 671РТМ(к) и ТАРКр «Петр Великий» (Рисунок 2) для подготовки личного состава электро-механических боевых частей. Более 250 АРМ оснащены учебные центры подводных сил СФ, ТОФ, учебные центры ВМФ, ВУНЦ ВМФ ВМА, ВМПИ.



Рисунок 2 – Пример реализации тренажеров

5) Создана специализированная визуальная среда АМАІ, которая позволяет выполнять:

- разработку расчётных схем объекта управления;
- разработку расчётных схем модели системы управления;
- создание комплексных моделей ЯЭУ;
- осуществление визуальной отладки, в том числе в пошаговом режиме;
- динамическое отображение всех моделируемых параметров.

б) Создан программно-аппаратный комплекс контроля технической готовности кораблей и судов ВМФ «Альтаир» (ПАК КТГ «Альтаир»), содержащий цифровое представление всего корабельного состава ВМФ. Корабли и суда представлены в виде отдельных цифровых объектов и содержат всю необходимую информацию в структурированном виде для накопления данных и эффективного управления эксплуатацией. Комплекс обеспечивает автоматизацию контроля технической готовности кораблей, оборудования и систем, ремонтов, регламентных работ, предоставление планов и других отчетных документов в цифровом виде по требованиям руководящих документов ВМФ.

ПАК КТГ эксплуатируется на стадиях жизненного цикла корабля «Эксплуатация» и «Ремонт, модернизация, сервис и утилизация».

В ходе работы достигнуты следующие результаты:

- произведено оснащение всех мест базирования, учебных центров, учебных заведений Военно-Морского Флота тренажерами для подготовки личного состава управляющего и обслуживающего ЯЭУ.
- произведены испытания комплексных систем управления техническими средствами проектов 09851, 949АМ, 11442М с применением программно-аппаратных комплексов на базе цифровых двойников.

– объекты Военно-Морского Флота оснащены рабочими местами изделия «Альтаир», выполнены работы по подготовке к подключению автоматизированных рабочих мест ПАК «Альтаир» к закрытому сегменту сети передачи данных Министерства обороны Российской Федерации с целью оперативной автоматизированной передачи данных.

Выдвигаемая работа позволила поддержать технологическое лидерство России в мировом атомном флоте и способствовала обеспечению национальной безопасности Российской Федерации. В результате внедрения учебно-тренировочных средств подготовки личного состава электромеханических боевых частей и программно-аппаратных комплексов отработки системы управления, созданных на основе цифровых двойников, а также программно-аппаратного комплекса контроля технической готовности кораблей, проведена цифровая трансформация, существенно повышающая эффективность и качество процессов обучения личного состава и управления эксплуатацией кораблей, что в свою очередь позволило обеспечить надежную и безаварийную эксплуатацию ядерных установок кораблей Военно-Морского Флота, повысить ядерную и радиационную безопасность при эксплуатации и обеспечить продление ресурсов и сроков службы оборудования ядерных энергетических установок.