

Трехмерная информационная модель – основа информационного сопровождения жизненного цикла блока АЭС

Полный срок жизненного цикла энергоблока АЭС может составлять более 100 лет. Как показывает практика эксплуатации действующих блоков АЭС, уже внутри промежутка времени в 40-50 лет существуют значительные проблемы с передачей знаний от специалистов старшего поколения более молодым. В связи с уходом с работы опытных кадров теряется существенный объем значимой информации. Действовавшая в советские времена налаженная система бумажного организационно-технического документооборота между эксплуатирующей организацией и проектно-конструкторскими институтами в настоящее время в полной мере не работает. Существует расхождение между реальным состоянием действующего блока АЭС и данными проектно-конструкторской документации. На действующих АЭС внедряются разнообразные ИТ-системы поддержки эксплуатации, и в каждой из них зачастую применяются не вполне совместимые перечни оборудования и систем. Изучая эксплуатационную документацию на АЭС, можно заметить, что даже в ней иногда упоминаются различные наименования для одной и той же технологической системы.

Данная ситуация объясняется отсутствием постоянно актуализируемого централизованного репозитория инженерно-технической информации на действующих блоках, доступного всем подразделениям АЭС и внешним организациям (в соответствии с уровнем допуска). Такой репозиторий должен в любой момент времени представлять актуализированный проект или исполнительную документацию по блоку и его промплощадке.

Только актуальный проект, соответствующий реальному состоянию блока АЭС, может являться информационной первоосновой для разработки любой эксплуатационной документации, взаимодействия и обучения специалистов, внедрения и применения различных ИТ-систем поддержки стадий эксплуатации блока и вывода его из эксплуатации (например, ИСТОИР).

Учитывая актуальность данной проблематики для организаций, эксплуатирующих АЭС по всему миру, поставщики программных решений для проектирования АЭС и других технически сложных и потенциально опасных объектов за последние 10 лет совершили существенный идеологический и технический скачок в развитии своих продуктов. Такие системы, как Intergraph SmartPlant Enterprise, теперь могут обеспечить не только автоматизацию разработки проекта и построение трех-

мерной проектной модели объекта, но и позволяют создать действенное единое информационное пространство сопровождения жизненного цикла, объединив в нем научные, проектные, конструкторские, строительномонтажные организации, заводы, поставщиков оборудования и собственно эксплуатирующую организацию. Объединение всех участников происходит вокруг постоянно актуализируемой трехмерной информационной модели блока АЭС, порождаемой в указанном информационном пространстве на стадии проектирования.

В настоящее время применение программного обеспечения платформы Intergraph SmartPlant Enterprise при проектировании блоков АЭС промышленно освоено в российских инжиниринговых компаниях ОАО "Атомэнергoproект", ОАО "СПбАЭП", ОАО "НИАЭП". Однако вопросы передачи и применения спроектированных информационных моделей блоков АЭС на последующих стадиях жизненного цикла – сооружения, эксплуатации – еще только предстоит отработать. В этом плане необходимо обеспечить консолидацию усилий всех заинтересованных структур: Госкорпорации "Росатом", ОАО "Концерн Росэнергоатом", инжиниринговых компаний.

В настоящей статье рассмотрены целесообразные направления применения трехмерных информационных моделей на стадиях сооружения, эксплуатации и вывода из эксплуатации блоков АЭС.

Стадия сооружения блока АЭС

Хорошо известно, что результат сооружения блока АЭС и исходный проект зачастую могут существенно отличаться из-за влияния различных факторов – начиная от возможных недочетов в проектировании и заканчивая необходимостью замены определенного в проекте оборудования и комплектующих на другие типы из-за задержек в поставках, невыполнения поставщиками обязательств и пр.

Трехмерная информационная проектная модель блока АЭС, применяемая совместно с другими современными технологиями, такими как лазерное сканирование, ГЛОНАСС/GPS-навигация, мобильные вычислительные устройства (терминалы сбора данных, промышленные планшетные ПК), беспроводные высокоскоростные сети передачи информации, может осуществить переворот в создании исполнительной документации "как построено", точно соответствующей результатам сооружения

блока АЭС. Совместное применение указанных технологий разработано ЗАО "НЕОЛАНТ" и запатентовано под торговой маркой СОМОКС (Система Оперативного Мониторинга Объектов Капитального Строительства).

Реализация технологии СОМОКС на площадке строящегося блока АЭС имеет следующие цели:

- ▶ сокращение сроков сооружения и непроизводственных издержек;
- ▶ минимизация влияния человеческого фактора на качество сооружения;
- ▶ обеспечение соответствия результата строительно-монтажных работ (СМР) проекту;
- ▶ получение достоверных данных для формирования модели as built;
- ▶ достижение прозрачности процессов планирования и управления СМР;
- ▶ обеспечение конкурентоспособности отечественной технологии сооружения АЭС на мировых рынках.

Рассмотрим одно из направлений применения СОМОКС – обеспечение соответствия проекта и результата сооружения блока АЭС.

Специалист инжиниринговой компании, дирекции строящейся АЭС или другой организации, отвечающей за контроль качества и приемку результатов строительства, используя средства технологии СОМОКС, может четко и обоснованно принять одно из трех возможных решений: принять результаты сооружения в соответствии с проектом, принять результаты сооружения с указанием необходимости корректировки проекта, отказать в приемке результатов СМР из-за несоответствия проекту.

Технология функционирует следующим образом. Площадка сооружения АЭС покрыта полем беспроводной широкополосной связи, к которому подключены мобильные вычислительные устройства специалистов (промышленные планшеты, терминалы сбора данных и пр.). На свои мобильные устройства специалисты загружают необходимые части трехмерной проектной модели блока АЭС (современный уровень развития мобильных устройств легко позволяет это сделать), находясь в любой точке площадки. Для контроля качества СМР применяются роботизированные лазерные сканеры, также подключенные к беспроводной сети и управляемые через нее. Лазерные сканеры точно позиционируются на площадке (с миллиметровой точностью) за счет использования базовой сети дифференциальных поправок координат ГЛОНАСС/GPS.

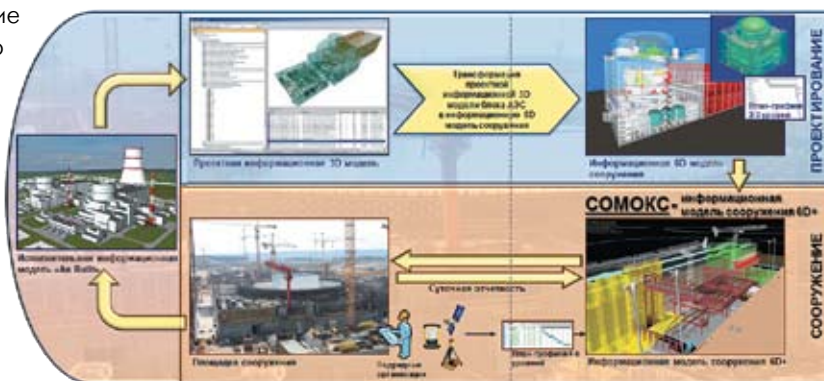


Рис. 1. Схема преобразования проектной трехмерной модели в исполнительную модель блока АЭС по результатам сооружения

При завершении строительно-монтажных работ на участке строительства блока АЭС производится лазерное сканирование, результаты которого специалист службы контроля и приемки может сразу же на месте своего нахождения загрузить на мобильное устройство и наложить на соответствующий участок трехмерной модели для контроля соответствия результата работ исходному проекту. Так как трехмерная проектная модель блока и лазерные сканеры привязаны к одной и той же системе координат, то возможно с заданной точностью определить соответствие СМР проекту и принять одно из перечисленных выше решений по приемке работ. Описанная схема преобразования проектной трехмерной модели в исполнительную модель представлена на рис. 1.

Среди других важных направлений применения трехмерных моделей на стадии строительства можно выделить следующие: контроль хода выполнения СМР за счет интеграции планов-графиков работ в ИСУП с трехмерной моделью (рис. 2); оптимизация планов-графиков СМР с разрешением пространственно-временных коллизий, отработка выполнения особо важных и особо сложных проектов производства работ

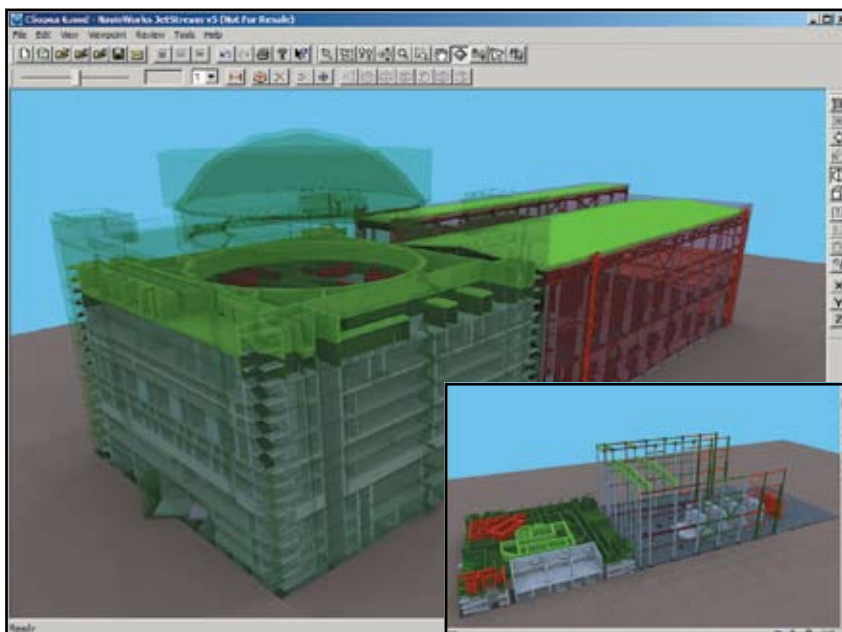


Рис. 2. Контроль хода выполнения СМР при интеграции планов-графиков работ в ИСУП с трехмерной моделью

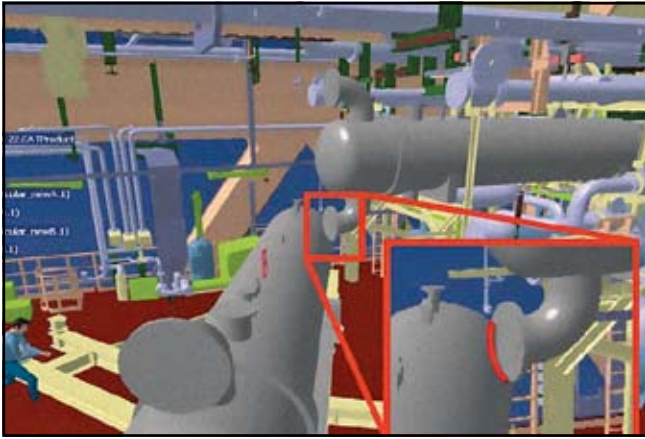


Рис. 3. Отработка выполнения особо важных и особо сложных ППР на трехмерной модели

(ППР) (рис. 3); обучение персонала; получение информации о физических объемах, количестве смонтированного оборудования и пр.

Стадия эксплуатации блока АЭС

На стадии эксплуатации полученная по результатам сооружения блока АЭС трехмерная исполнительная информационная модель должна являться информационным фундаментом для создания и применения разнообразных ИС, повышающих эффективность и безопасность эксплуатации блока АЭС. Основные направления применения трехмерной исполнительной информационной модели блока АЭС на стадии эксплуатации:

- ▶ управление конфигурацией блока АЭС – поддержание исполнительной модели блока АЭС в актуальном состоянии за счет обеспечения формирования единого информационного пространства вокруг трехмерной модели для проектных и эксплуатирующей организаций;
- ▶ поставка исходной информации о конфигурации блока АЭС эксплуатационным информационным системам (ИС ТОиР, ИС управления эксплуатацией и пр.);
- ▶ обеспечение оперативного визуального доступа персонала к проектно-конструкторской, эксплуатационной и другой документации, данным различных систем (ИС ТОиР, АСУ ТП и т.д.) посредством единой точки доступа, представленной в виде трехмерной исполнительной модели;
- ▶ интеграция, накопление и визуализация данных о радиационной обстановке, поступающих из различных источников – штатных систем радиационного мониторинга, с приборов ручного дозиметрического контроля, автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (АСКРО) и т.д.;
- ▶ обучение ремонтного и эксплуатационного персонала;
- ▶ создание тренажеров и моделирующих комплексов для обучения персонала действиям в аварийных ситуациях;

- ▶ моделирование распространения радиоактивных веществ в приземных слоях воздуха и их выпадения на территории размещения АЭС при возникновении аварийных ситуаций.

Рассмотрим вкратце перечисленные направления.

Поддержание соответствия конфигурации блока АЭС, отраженной в трехмерной модели, реальному состоянию эксплуатируемого блока АЭС может быть обеспечено только в случае системного осуществления всего объема деятельности по внесению изменений в проект через исполнительную трехмерную модель. При такой организации работ трехмерная модель доступна и применяется всеми подразделениями АЭС без возможности внесения изменений. Запросы на проведение изменений согласуются на АЭС и направляются в соответствующие инженеринговые компании или уполномоченные проектно-конструкторские организации, которые имеют право обновления модели и внесения в нее изменений. После производства изменений в трехмерной информационной модели появляется ее альтернативная версия, в соответствии с которой должны быть осуществлены мероприятия по ремонту, модернизации, реконструкции, после чего альтернативная версия модели становится основной и доступной всем эксплуатационным подразделениям станции.

Безусловно, все применяемые на АЭС системы информационной поддержки эксплуатации должны оперировать единым составом оборудования, систем, справочников и классификаторов. Решить данную задачу можно только в случае получения указанных базовых данных всеми эксплуатационными системами из единого источника. Таким источником должна быть трехмерная информационная исполнительная модель блока АЭС, постоянно поддерживаемая соответствующей инженеринговой компанией. В настоящее время ЗАО «НЕОЛАНТ» по согласованию с Департаментом информационных технологий ОАО «Концерн Росэнергоатом» и при поддержке ОАО «Атомэнергопроект» и главного конструктора корпоративной информационной системы (КИС) ОАО «Концерн Росэнергоатом» ЗАО «ИНЛАЙН-ГРУПП» осуществляет разработку проектных решений по интеграции платформы Intergraph SmartPlant Enterprise в КИС предприятия в качестве нового компонента, обеспечивающего хранение всей

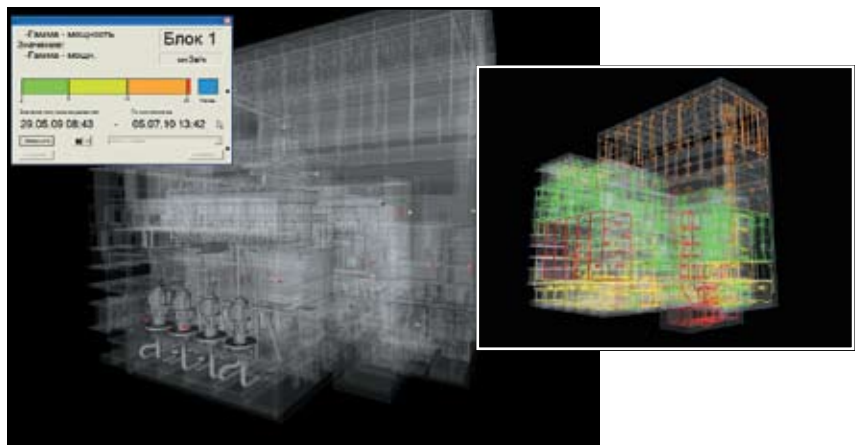


Рис. 4. Применение трехмерных моделей для отображения радиационной обстановки в помещениях энергоблока в АСРМ ЛАЭС



Рис. 5. Применение мобильных терминалов для автоматизированного сбора и отображения данных радиационной обстановки в помещениях энергоблока в АСРМ ЛАЭС

инженерной информации о блоке АЭС и ее передаче в подсистемы КИС, например ИС ТОиР.

Трехмерная модель может являться единой точкой доступа к данным различных информационных источников на блоке АЭС – ИС ТОиР, АСУ ТП, данным систем радиационного мониторинга, пожарной безопасности и т.д. При эргономичной и интуитивно понятной организации визуальных пользовательских интерфейсов можно значительно повысить эффективность деятельности эксплуатационного персонала, его информированность об интегральном состоянии блока АЭС (мониторы состояния), а также о состоянии конкретных технических и инженерных систем.

Примером такого подхода может являться создаваемая в настоящее время ЗАО «НЕОЛАНТ» автоматизированная система радиационного мониторинга (АСРМ) блоков Ленинградской АЭС. На действующих блоках АЭС постоянно производится радиационный мониторинг, направленный на контроль различных характеристик радиационной обстановки. Такой мониторинг осуществляется как штатными автоматизированными системами, так и методом ручного дозиметрического контроля. Применяются и другие способы сбора данных о радиационной обстановке. К сожалению, указанная информация на всех действующих блоках АЭС не сводится в единый репозиторий данных, что не позволяет составить оперативную интегральную картину радиационного состояния блока в целом, которая представляла бы его в пространственном трехмерном распределении отметок и помещений блока. АСРМ ЛАЭС отображает на трехмерных моделях блоков ЛАЭС текущее состояние данных о радиационной обстановке с возможным переключением пользователя между источниками данных или их агрегацией (рис. 4). Для автоматизации ручного сбора информации о радиационной обстановке применяются штриховое кодирование помещений и интеллектуальные терминалы сбора данных, распознающие штрихкоды, интегрированные с дозиметрами, а также

штрихкодирование дверей помещений. При считывании штрихкодированной метки с помощью терминала сбора данных на его экране отображается план помещения с точками радиационного контроля, к которым и привязываются данные замеров (рис. 5).

С учетом происходящей в настоящее время смены поколений эксплуатационного и ремонтного персонала на АЭС требуется уделять все большее внимание вопросам обучения персонала, в том числе действиям в условиях возможного возникновения на блоке АЭС аварийных ситуаций. Для этой цели с использованием возможностей современных технологий ЗАО «НЕОЛАНТ» совместно с ИБРАЭ РАН и Ленинградской

АЭС на основе трехмерной модели главного здания ЛАЭС разработан тренажер-симулятор развития аварийной ситуации разрыва опускного трубопровода контура многократной принудительной циркуляции (КМПЦ). Созданный программный комплекс позволяет в любой момент времени представить развитие аварийной ситуации в ключевых точках блока АЭС и обучить персонал принятию соответствующих упреждающих действий (рис. 6, 7).

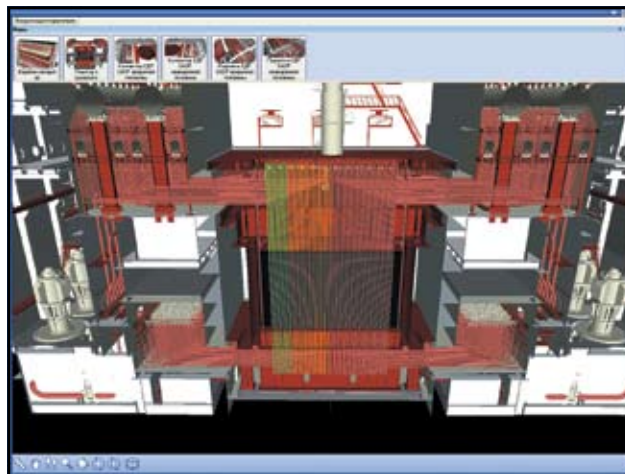


Рис. 6. Экран отображения характеристик развития аварийной ситуации в ключевых точках блока АЭС

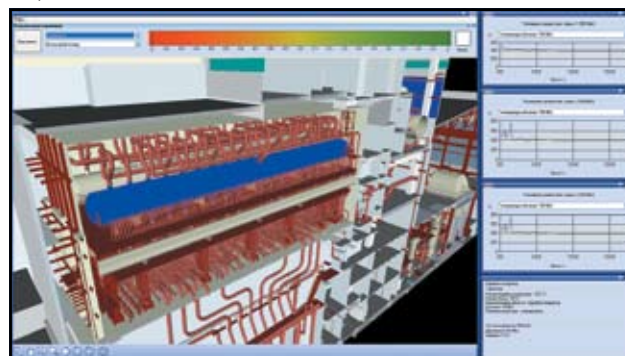


Рис. 7. Отображение различных характеристик выбранного оборудования в динамике развития аварийной ситуации

Трехмерное моделирование распространения загрязнений в атмосфере на площадках размещения радиационно опасных объектов используется там, где существует вероятность аварийного выброса радиоактивных веществ в газовой и/или аэрозольной форме в атмосферу и распространения их в пределах промплощадки предприятия.

Оценка и минимизация последствий таких инцидентов на промышленных объектах и принятие адекватных решений по защите персонала и населения требует прогнозирования радиационной обстановки при рассеивании и выпадении радиоактивных или токсических веществ на промплощадках предприятия в условиях скоротечного развития ситуации. Возможность такого прогноза позволяет ставить и решать целый ряд задач по повышению аварийной готовности радиационно опасных предприятий:

- ▶ анализ и оптимизация аварийных планов, проверка реалистичности планов ликвидации последствий ЧС, исследование возможности смягчения последствий/предотвращения ЧС, недопущения перерастания чрезвычайной ситуации в катастрофу;
- ▶ проектирование и оптимизация объектовых систем АСКРО;
- ▶ обучение персонала, тренинг, создание тренажеров, позволяющих в имитационном режиме проводить отработку действий по управлению силами и средствами в аварийных ситуациях (например, отработку действий робототехники);
- ▶ ознакомление персонала аварийно-спасательных формирований с условиями работы в зоне возможного радиоактивного загрязнения и оптимизация защитных мероприятий;
- ▶ подготовка и проведение учений и деловых игр.

Применение расчетных комплексов на основе динамических, легко управляемых трехмерных моделей объектов в процессе планирования и управления аварийными ситуациями существенно повышает информированность и координацию специалистов служб и подразделений, участвующих в ликвидации последствий аварии, персонала объектов, населения прилегающих территорий. Наглядность, присущая трехмерным моделям, обеспечивает оперативность принятия решений лицами, ответственными за ликвидацию последствий аварий. Визуализация полученных расчетных данных на трехмерной модели объекта способствует быстрой оценке обстановки и позволяет снизить

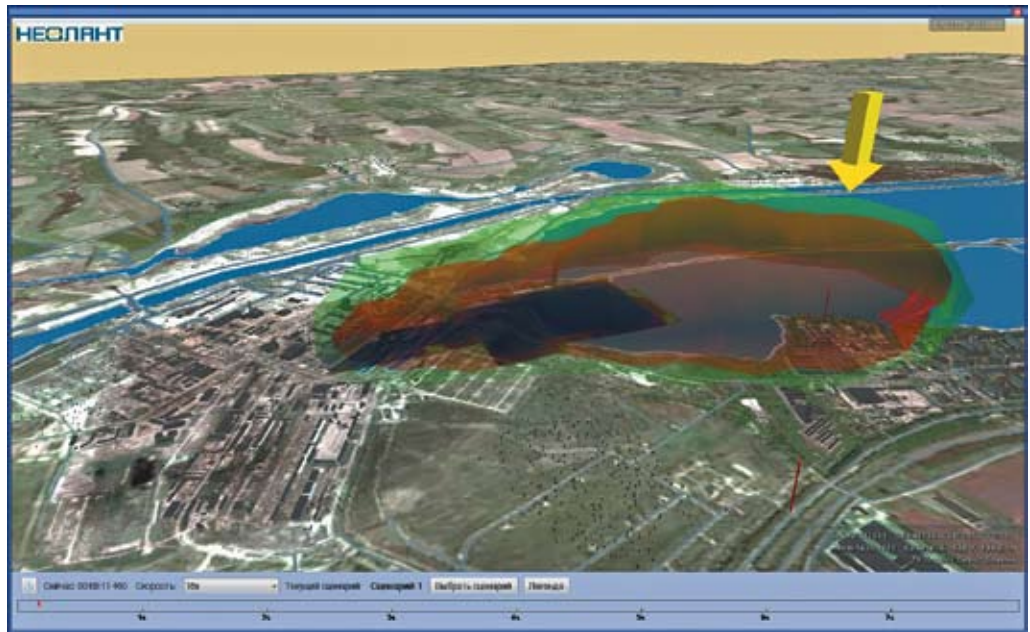


Рис. 8. Визуализация переносов РВ в приземном слое воздуха

негативное влияние последствий аварийных ситуаций на персонал объекта, население прилегающих территорий и специалистов аварийных служб.

К настоящему времени ЗАО «НЕОЛАНТ» совместно с ИБРАЭ РАН разработана компьютерная информационно-моделирующая система для поддержки принятия решений в случае возникновения радиационно-опасных ситуаций на промплощадках ядерных и радиационно опасных объектов на основе оперативного картирования и анализа складывающейся и прогнозируемой радиологической ситуации (рис. 8).

Стадия вывода из эксплуатации блока АЭС

Подготовка к выводу из эксплуатации и вывод из эксплуатации (ВЭ) энергоблока АЭС – комплексный процесс, включающий несколько этапов, на которых осуществляется разработка локальной (объектовой) концепции вывода из эксплуатации, программы вывода из эксплуатации, проведение комплексного инженерного и радиационного обследования, разработка проекта вывода из эксплуатации, дезактивация и демонтаж оборудования, обращение с радиоактивными отходами (РАО) и т.д. На любом этапе вывода из эксплуатации принятие обоснованных решений может гарантироваться исключительно наличием и полнотой требуемой для этих целей информации.

Осуществление полного цикла работ по выводу из эксплуатации блока АЭС является масштабным организационным и техническим мероприятием, во многом сопоставимым по объему требуемых для его реализации временных, материальных и трудовых ресурсов с процессом первоначального сооружения блока.

Основной проблемой при выводе из эксплуатации блока АЭС является проблема переработки и удаления для последующего хранения или захоронения РАО, которые образуются при демонтаже

как реактора, так и радиоактивных конструкций блока. Одним из наиболее опасных воздействий в процессе демонтажа оборудования является радиационное, поскольку при демонтаже происходит разрушение защитных барьеров безопасности и возможен вынос за пределы блока большого количества радиоактивных веществ в твердом, жидком, газообразном состоянии и в виде аэрозолей. Факторы обращения с РАО и обеспечения радиационной безопасности играют наиболее значимую роль в стоимости практической реализации ВЭ.

С учетом длительности, сложности и потенциальной опасности процесса вывода из эксплуатации блока, а также значительной стоимости его практической реализации целесообразно осуществлять предварительное моделирование процесса ВЭ (или его основных наиболее сложных технологических операций) на имитационных многомерных интерактивных моделях блока АЭС (ИМ ВЭ блока АЭС).

На сегодняшний день на примере 1-го блока Ленинградской АЭС, у которого, с одной стороны, заканчивается продленный срок службы, а с другой, для него сформирована и информационно наполнена база данных вывода из эксплуатации, можно начинать работы по практическому созданию ИМ ВЭ. Задавая в такой системе различные варианты конечных состояний, планов-графиков осуществления работ с указанием конкретных применяемых технологий и технологических процессов демонтажа элементов конструкций блока, на выходе будет возможно получить временные и финансовые характеристики варианта осуществления работ, объема образующихся РАО, величины дозовых нагрузок на персонал, выполняющий работы. Немаловажным фактором является возможность визуального динамического отображения процесса демонтажа элементов конструкций блока для оценки корректности и разработки оптимальных вариантов осуществления работ, выявления пространственно-временных коллизий, а также для предварительного обучения персонала.

ЗАО "НЕОЛАНТ" в рамках принятой в ОАО "Концерн Росэнергоатом" "Рабочей программы по созданию и совершенствованию в рамках корпоративной информационной системы ОАО "Концерн Росэнергоатом" информационной базы данных подготовки и вывода из эксплуатации блоков АЭС с использованием трехмерного моделирования на период с 2010 по 2020 годы" проводятся работы по созданию подобных ИС БДВЭ блоков АЭС. Некоторые результаты этой деятельности по Ленинградской АЭС представлены на рис. 9, 10.

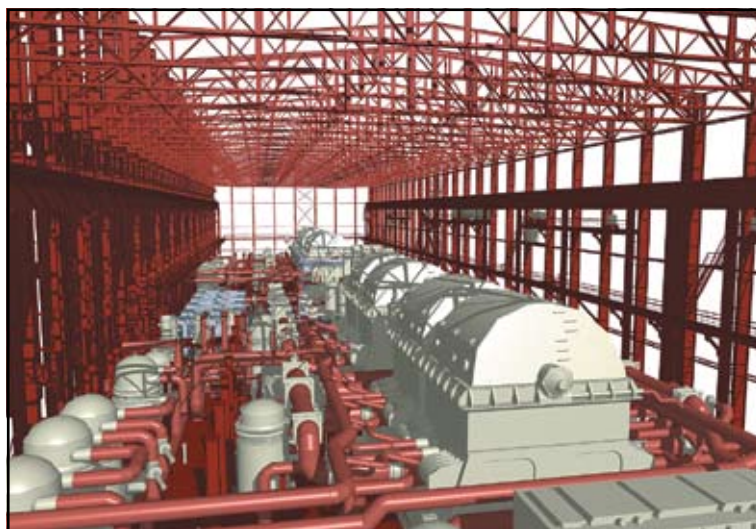


Рис. 9. Пример трехмерной модели, выполненной в рамках создания ИС БДВЭ ЛАЭС (машинный зал первой очереди ЛАЭС)

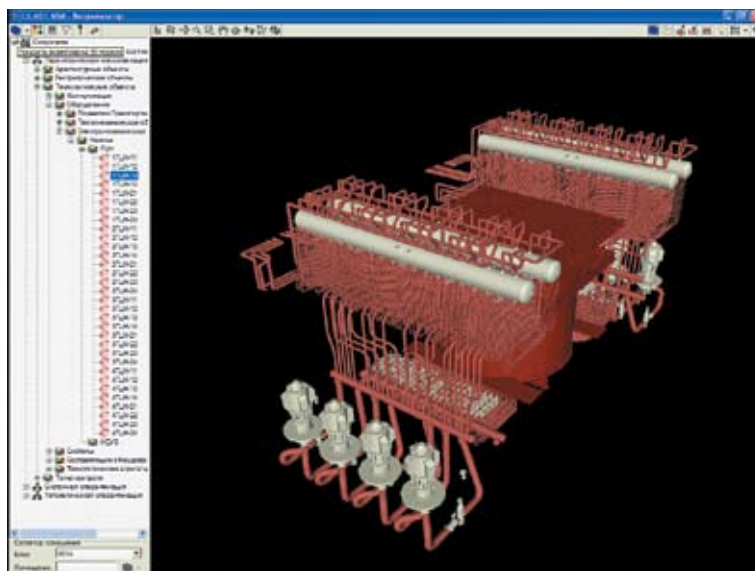


Рис. 10. Трехмерные информационные модели систем блоков ЛАЭС в интерфейсе ИС БДВЭ

Заключение

Применение трехмерных инженерных моделей имеет множество практически важных приложений на всех стадиях жизненного цикла блока АЭС. Некоторые из направлений представлены в настоящей статье. Однако обеспечение активного применения моделей в эксплуатирующей организации требует решения целого ряда методологических, организационных, информационных и других вопросов. В настоящее время, к сожалению, еще не существует примеров полнофункционального применения трехмерных моделей, разработанных инжиниринговыми компаниями, в ОАО "Концерн Росэнергоатом". Решению данной проблемы может способствовать разработка вариантов практического применения моделей для различных стадий жизненного цикла блоков АЭС, а также меры по объединению различных организаций атомной отрасли для налаживания диалога в этой сфере деятельности.

В. В. Кононов, В. Л. Тихоновский, ЗАО "НЕОЛАНТ"