



УДК: 621.039

ИНТЕРАКТИВНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ

Былкин Б.К. (НИЦ «Курчатовский институт»),
Чуйко Д.В., Тихоновский В.Л. (АО «НЕОЛАНТ»)

На опасных производственных объектах, таких как атомные электростанции и другие организации атомной отрасли, нештатное развитие ситуации при выполнении ряда технологических операций, например, при демонтаже графитовой кладки реактора, чревато не только дополнительными финансовыми и временными затратами на выполнение корректирующих действий, но и негативным воздействием на персонал и окружающую среду. В связи с этим очень важно предварительно осуществлять верификацию сложных технологических процессов, особенно таких, которые будут выполнены впервые на данном предприятии и/или в отрасли/мире в целом.

► **Ключевые слова:** вывод из эксплуатации, имитационное моделирование, 3D модель, верификация проектных решений, радиационная безопасность, ПУГР, АЭС.

INTERACTIVE SIMULATION 3D MODEL AS A TOOL SUPPORTING PERSONNEL RADIATION SAFETY AT DECOMMISSIONING ACTIVITIES

Bylkin B. (NRC «Kurchatov Institute»),
Chuiko D., Tikhonovsky V. (NEOLANT JSC)

Abnormal incident evolution on dangerous industrial facilities like nuclear power plants and other nuclear facilities at some process procedures, such as dismantling reactor graphite stack, threatens not only with extra financial and time expenditures for mitigating measures, but also with negative effect on the personnel and environment. Therefore preliminary verification is essential for sophisticated process procedures, especially if they will be carried out for the first time at the plant and/or the industrial brunch/in the world.

► **Key words:** decommissioning, simulation modeling, 3D model, design solutions verification, radiation safety, uranium-graphite production reactor, NPP.

Радиационная безопасность персонала при выполнении дистанционно управляемого демонтажа обеспечивается, в первую очередь, за счет соблюдения следующего требования: выбранная технология проведения демонтажных работ должна исключать возможность возникновения нештатной ситуации, при которой потребуются присутствие персонала на месте проведения работ для принятия корректирующих мер. Для этого необходима предварительная отработка процесса демонтажа.

Тщательное планирование процесса демонтажа требует одновременного учета множества факторов, характеризующих как состояние выводимого из эксплуатации энергоблока, так и применяемое оборудование и планируемые операции. Как правило, эти факторы корректно учесть путем умозрительных заключений весьма сложно и, следовательно, велик риск принятия решений, не обеспечивающих требуемый уровень безопасности.

Принятие непроверенных решений при проектировании процесса вывода из эксплуатации может при демонтаже обернуться невозможностью его выполнения и привести к необходимости разработки нового проекта вывода из эксплуатации.

Одним из способов решения указанных проблем является проведение имитационного трехмерного моделирования процесса демонтажа. Такой способ позволяет автоматически учесть многие проблемные факторы, в том числе:

- отсутствие свободного обзора места проведения работ (при управлении механизмами через системы теленаблюдения);
- отсутствие бинокулярного зрения;
- пространственные ограничения области свободного перемещения;
- отсутствие в местах проведения работ персонала, который мог бы на месте принимать корректирующие меры в случае возникновения неожиданных ситуаций;
- выявление важных для демонтажа аспектов состояния демонтируемой установки только в процессе работы (например, проблем очередного слоя демонтируемой графитовой кладки).

В данной статье под имитационным моделированием понимается логико-математическое представление демонтажных работ, реализуемое в виде компьютерных алгоритмов и программ, имитирующих протекание реальных физических и технологических процессов во времени, включая действия персонала и используемого оборудования. В отличие от более привычного применения термина «имитационное моделирование» здесь не под-

разумевается учет множества случайных факторов и последующая статистическая обработка выходных параметров экспериментов.

Созданная модель, будучи детерминистической, направлена на учет, в первую очередь, геометрических и механических факторов. В ходе модельного эксперимента оператор управляет дистанционно-управляемыми демонтажными механизмами и делает это теми же способами и с той же скоростью, которые будут доступны работнику в реальности. Необходимые вычисления и визуализация производятся с применением трехмерного моделирования.

Таким образом, речь идет об интерактивной имитационной трехмерной модели (ИИТМ) процесса демонтажа.

При помощи ИИТМ производится отработка процесса демонтажа: верификация проектных решений и выбор рационального варианта выполнения работ. Затем та же ИИТМ (после соответствующей актуализации) применяется в качестве тренажера для работников, которым предстоит выполнять демонтаж.

Модель состоит из трехмерной модели, модели физических свойств объектов, набора расчетных функциональных блоков и банка данных смоделированных операций (рис. 1).

Модель создана для верификации проектных решений по демонтажу графитовых кладок блоков 1, 2 Белоярской АЭС. В соответствии с технологией, разработанной специализированной организацией, демонтаж должен производиться дистанционно управляемым механизмом (ДУМ) марки BROKK. Для перемещения ДУМ в шахте реактора предусмотрена специальная конструкция, которая размещается внутри защитного укрытия над реакторным пространством и представляет собой опускаемый в шахту реактора горизонтальный настил со съемными люками (рис. 2). Верификация производилась в части послыонного демонтажа графитовой кладки с одновременным демонтажем каналов СУЗ, штанг и стяжек бокового отражателя.

Была разработана методика испытаний верифицируемого процесса демонтажа на ИИТМ, в соответствии с которой поверхность настила разделялась на зоны различной конфигурации, для каждой из которых был определен свой набор начальных расположений ДУМ, контейнеров (точнее сказать, размещаемых внутри укрытия выемных частей транспортных контейнеров), а также зон размещения снятых листов настила. Были произведены эксперименты с моделью, в результате которых выявлены:

- нецелесообразность смены насадок ДУМ в процессе работы;
- необходимость изменения схемы теленаблюдения;
- доступность для извлечения при помощи ДУМ только порядка 40 % блоков слоя графитовой кладки (основная причина недоступности: мешают опорные конструкции настила) (рис. 3);

- необходимость предварительного раскола слипшихся блоков (ограничения по грузоподъемности оборудования).

Указанный способ моделирования позволил на ранней стадии выявить недостатки первоначальной версии проекта демонтажа, которые существенно угрожали безопасности и результативности применения предложенной технологии. Были сформулированы корректирующие решения.

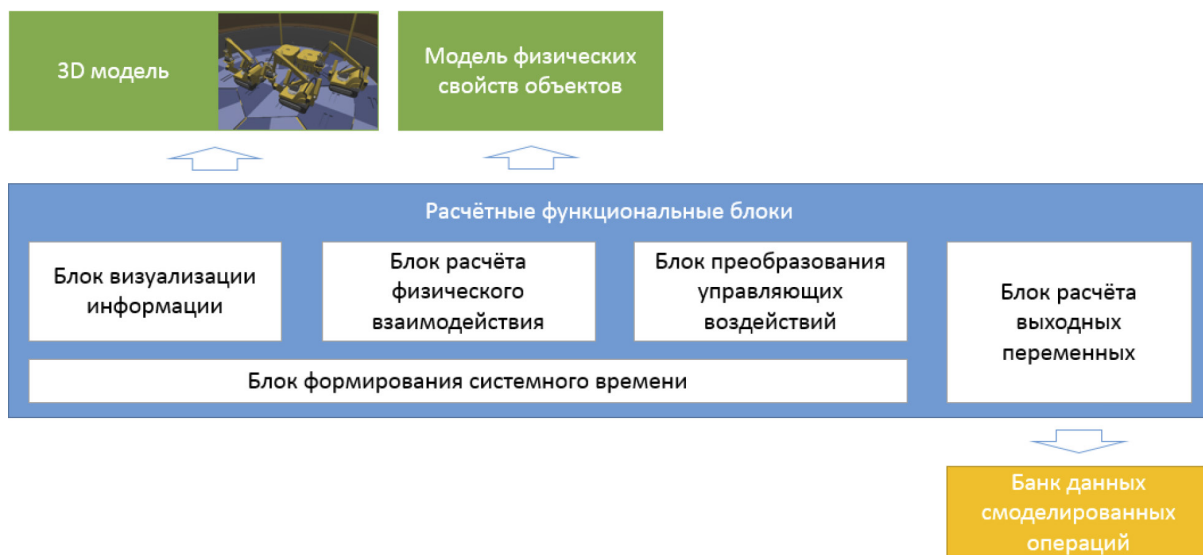


Рис. 1. Структура ИИТМ

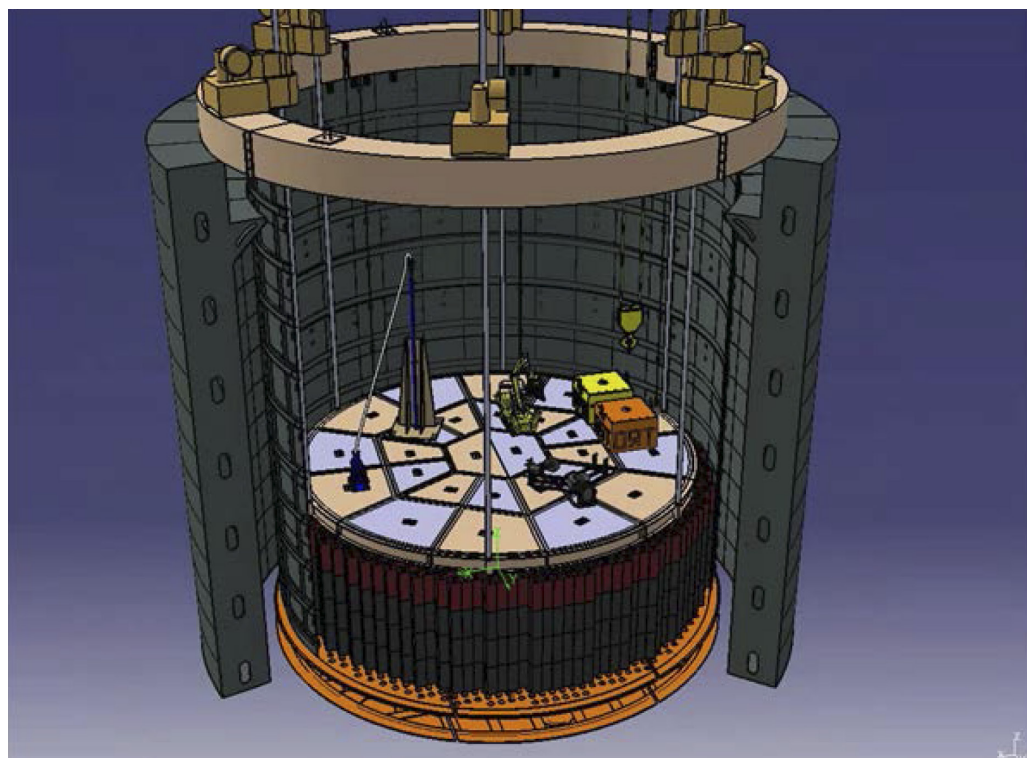


Рис. 2. Трехмерная модель демонтажа графитовой кладки реактора АМБ-100 Белоярской АЭС

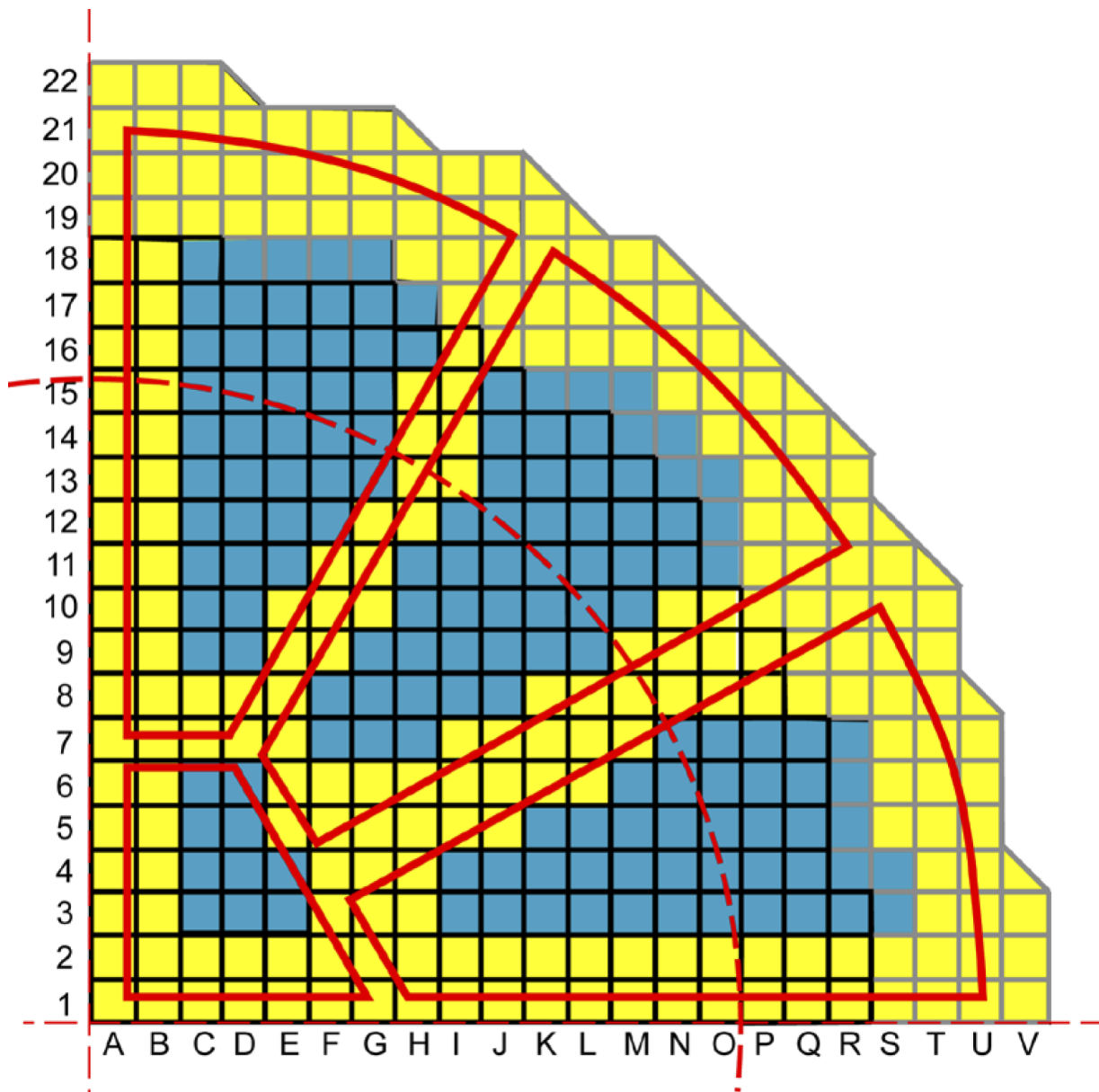


Рис. 3. Общая схема доступности блоков для извлечения (желтым отмечены блоки, недоступные для извлечения; голубым – блоки, которые можно извлечь)

Кроме того, ИИТМ была применена при отработке технологий подготовки к захоронению промышленного уран-графитового реактора (ПУГР) ФГУП «ПО «Маяк». Перед захоронением свободное пространство внутри реакторных установок подлежит заполнению барьерными материалами. Соответствующая ИИТМ (рис. 4) создана и применена для отработки демонтажа каналов и металлоконструкций подреакторного пространства ПУГР АВ-1 с целью освобождения схемы «Р» для последующего заполнения барьерными материалами.

В результате применения ИИТМ для данного объекта:

- выбрана последовательность работ;
- определены пути подъезда и перемещения применяемых ДУМ;
- выявлены «узкие места» в процессе демонтажа, для выполнения которых требуется тщательная подготовка привлекаемых работников.

Выводы: применение ИИТМ для повышения радиационной безопасности персонала при проведении дистанционно управляемых работ целесообразно. Повышение безопасности обеспечивается как за счет отработки проектных решений по демонтажу при разработке процесса демонтажа, так и за счет подготовки персонала к выполнению демонтажных работ.

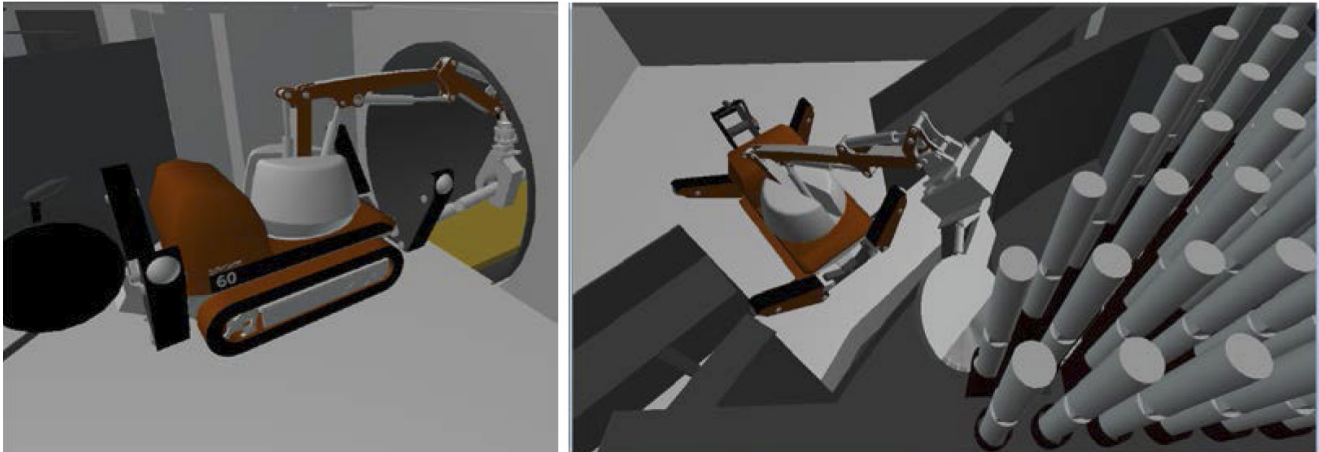


Рис. 4. Отработка на ИИТМ демонтажа каналов и металлоконструкций подреакторного пространства ПУГР АВ-1

Список литературы

1. Былкин Б.К., Бунто П.А., Тихоновский В.Л., Чуйко Д.В. Применение имитационно-обучающего тренажера для демонтажа блоков АЭС. – Атомная энергия, 2012, том 113, вып. 6.

