

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И ЗОН ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ НА ОБЪЕКТЕ "УКРЫТИЕ"**

**А. А. Ключников, В. М. Рудько, В. Г. Батий, Л. И. Павловский, С. С. Подберезный**

*Институт проблем безопасности атомных электростанций НАН Украины, Чернобыль*

Обоснована необходимость широкого применения компьютерной графики в процессе преобразования объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему и приведены примеры ее применения при разработке проекта стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие».

### **Введение**

Опыт первых лет преобразования объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему и снятия с эксплуатации ЧАЭС [1 - 10] показал, что вопросы обеспечения радиационной безопасности являются ключевыми на всех этапах этой деятельности - начиная от концептуального проектирования, заканчивая заключительным анализом безопасности реализованных проектов.

### **Основные исследования и публикации**

Компьютерная графика (КГ) представляет собой совокупность методов и приемов преобразования с помощью компьютера данных в графическое представление (модель) и графического представления (модели) в данные [11].

В настоящее время применяются в основном двумерные планы и растровые изображения (рисунки). Реально использовалась также разработанная в МНТЦ „Укрытие” трехмерная компьютерная модель локальной зоны объекта «Укрытие». Такое графическое представление использовалось в разных задачах:

- обобщенный анализ проблем радиационной безопасности [1];
- выбор оптимальных концептуальных решений [2];
- анализ безопасности и оценка воздействий на окружающую среду при создании инфраструктуры, необходимой для преобразования объекта «Укрытие» [3];
- разработка и реализация проектов по стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие» [4 - 5];
- представление результатов предпроектных исследований по стабилизации [6 - 7];
- разработка проекта нового безопасного конфайнмента (НБК) [8];
- анализ безопасности в процессе снятия с эксплуатации ЧАЭС [9];
- анализ безопасности новых объектов на площадке ЧАЭС [10] и др.

Видеоинформация как приложение к отчету представляется в редких случаях. В качестве примера можно привести видеофильм, снятый в процессе проведения предпроектных исследований [6, 7] по стабилизации.

Однако в целом можно утверждать, что в настоящее время в работах по преобразованию объекта «Укрытие», в частности проводимых в рамках Плана обеспечения мероприятий (ПОМ), недостаточно используются возможности КГ. Публикаций в научных изданиях по вопросам применения КГ при решении вопросов преобразования объекта «Укрытие» практически нет.

### **Постановка задачи**

За последние три - четыре года качественно изменился состав оборудования и средств программного обеспечения, применяемых для КГ. Поэтому возникает задача эффективного

© А. А. Ключников, В. М. Рудько, В. Г. Батий, Л. И. Павловский, С. С. Подберезный, 2004

использования современных технических и программных возможностей для повышения радиационной безопасности при производстве работ на объекте «Укрытие».

Для решения этой задачи в настоящей работе проанализированы различные виды деятельности по преобразованию объекта «Укрытие» и показано, применение каких средств КГ и каким образом может уменьшить дозозатраты при производстве работ и повысить уровень радиационной безопасности. Разработан и апробирован метод интеграции средствами КГ различного вида информации об объекте «Укрытие» в виде трехмерной модели. Отработана технология создания компьютерного анимационного проекта и видеофильма маршрута перемещения по промплощадке и объекту «Укрытие» с помощью средств КГ и трехмерной анимации. Приведены примеры применения КГ.

### **Виды деятельности, требующие применения КГ**

КГ целесообразно применять на различных этапах деятельности и для решения широкого круга задач.

При разработке проектной документации (как при концептуальном, так и при детальном проектировании) КГ целесообразно применять для рассмотрения альтернативных объемно-планировочных и технологических решений, выбора и обоснования оптимального технического решения, обеспечивающего минимальные дозозатраты и приемлемый уровень радиационной безопасности. Ее применение будет очень полезным и в процессе рассмотрения предлагаемых проектных решений заказчиком (ЧАЭС) и регулирующими органами, упростит процедуры согласования принятых проектных решений.

Применение КГ позволит лучше учитывать влияние смежных объектов и деятельности на них на проектируемый объект, выбрать оптимальную транспортную схему, оптимальным образом разместить объекты инфраструктуры. Все это повысит качество проекта, позволит уменьшить дозозатраты при строительстве и эксплуатации объекта – стабилизированного объекта «Укрытие», нового безопасного конфайнмента (НБК).

При таком подходе существенно снизятся дозозатраты в процессе самого проектирования (исключается необходимость привлечения всех проектировщиков к изучению обстановки в зонах производства работ) и понижается вероятность ошибок проектирования.

При разработке мероприятий по радиационной безопасности применение КГ позволяет нагляднее представить радиационную обстановку, учесть возможные изменения реальной обстановки в процессе преобразования, выбрать оптимальные пути доступа с учетом различных факторов (радиационная обстановка, пути перемещения и участки хранения радиоактивных отходов (РАО), зоны работы подъемных механизмов и т.д.), точнее рассчитать индивидуальные и коллективные эффективные дозы.

В условиях объекта «Укрытие» самым опасным фактором воздействия на персонал является внешнее гамма-облучение. Поэтому одним из самых эффективных мероприятий является экранирование. Применение КГ позволяет более эффективно находить оптимальные решения за счет большей наглядности в расположении основных источников излучения, общего вида зон производства работ. При этом проще находить технические решения, при которых организация экранирования не мешает проведению других работ, в том числе регламентных.

При анализе аварий применение КГ позволит более наглядно представить возможные сценарии их развития, точнее оценить последствия и разработать эффективные предотвращающие и/или смягчающие мероприятия.

Применение КГ при оценке воздействий на окружающую среду позволяет более качественно проанализировать все источники воздействий в общей зоне влияния, точнее оценить воздействия на персонал смежных объектов, нагляднее продемонстрировать последствия возможных воздействий.

При разработке транспортно-технологических схем обращения с РАО КГ позволит оптимизировать маршруты транспортирования РАО, предотвращая, по возможности, пере-

сечение с маршрутами движения персонала, выбрать места временного хранения РАО на максимально возможном расстоянии от зон производства работ, выбрать места паспортизации РАО в наиболее благоприятных радиационных условиях для уменьшения фона.

На этапе подготовки к проведению работ применение КГ позволит более качественно разработать проект производства работ и заранее ознакомить привлекаемый персонал с обстановкой в зоне производства работ.

Обучение персонала на компьютерном тренажере для проведения строительных работ позволит уменьшить дозы текущего (уменьшение времени производства операций за счет лучшего знания обстановки и уменьшение времени нахождения в зонах с худшей радиационной обстановкой) и потенциального (уменьшение вероятности ошибок) облучения. Это особенно важно на данном этапе, когда планируется привлечь к работам по стабилизации и, особенно, по строительству НБК большое количество людей, не бывавших ранее на объекте «Укрытие».

В ходе производства работ использование КГ повысит качество работ и позволит оперативно обнаруживать возможные отклонения от проекта. Применение КГ позволит более эффективно провести анализ безопасности по результатам выполненных работ и выявить причины возможного несоответствия проектных и реальных коллективных эффективных доз.

Очень важным является применение КГ для ознакомления общественности с текущим состоянием объекта «Укрытие» и деятельностью по его преобразованию.

Процесс преобразования объекта «Укрытие» будет осуществляться на протяжении жизни нескольких поколений (планируемый срок эксплуатации БК - 100 лет с возможностью его продления до 300 лет при необходимости). Поэтому для повышения уровня ядерной, радиационной и общетехнической безопасности при будущих работах необходим системный подход в развитии указанного направления с целью подготовки компьютерных и видеоматериалов, отображающих все этапы процесса преобразования объекта «Укрытие»:

- стабилизация объекта «Укрытие»;
- строительство НБК;
- демонтаж нестабильных конструкций;
- проведения демонстрационного эксперимента по извлечению топливосодержащих материалов (ТСМ);
- разработка стратегии извлечения ТСМ;
- преобразование НБК для задач извлечения ТСМ;
- извлечение ТСМ;
- преобразование объекта «Укрытие» в приповерхностное хранилище краткосуществующих РАО или его полный демонтаж;
- снятие с эксплуатации НБК.

Такая же работа должна проводиться и для других видов деятельности, так или иначе связанных с преобразованием объекта «Укрытие» (снятие с эксплуатации энергоблоков ЧАЭС, создание комплексов по переработке и захоронению РАО, другая деятельность на промплощадке ЧАЭС и в зоне отчуждения).

### **Построение трехмерной геометрической модели реального состояния помещений объекта «Укрытие»**

Для выполнения любого вида работ на объекте «Укрытие» необходимо ясное представление о характеристиках помещений, в которых они будут выполняться. С этой целью необходимо разрозненную документацию (строительные чертежи, чертежи технологического оборудования доаварийного состояния 4-го энергоблока ЧАЭС, данные обследования послеаварийного состояния строительных конструкций и технологического оборудования, мест расположения и геометрические размеры ТСМ) представить в единой пространственной системе на базе современных технологий проектирования строительных

конструкций и визуализации промышленных архитектурных сооружений [12]. Трехмерная КГ является прикладной наукой, включающей знание математики, компьютерной технологии и эстетики, поэтому при создании и сопровождении компьютерных трехмерных моделей требуется достаточно высокий уровень профессионализма разработчиков. На стадии разработки, проектирования и реализации проекта трехмерная модель позволяет проникать в любые недоступные для натуральных исследований точки исследуемого объекта и анализировать процессы в нем [13].

Технология построения трехмерной геометрической модели реального состояния помещений объекта «Укрытие» подробно изложена в работе [14].

Визуализация модели средствами программы *3D Studio max* позволяет получить цветные растровые изображения всей модели или выбранного объекта.

Была выполнена анимация предполагаемого процесса распространения первого потока ТСМ по помещениям 4-го энергоблока во время аварии. Фрагмент анимации данного процесса показан на рис. 1.

При необходимости может быть создана анимация внешнего вида помещений по заранее согласованному маршруту движения любой протяженности. Он может быть расположен как в пределах одного помещения, так и переходить с одной отметки блока на другую в разные помещения. Полученная анимация может быть сохранена на жестком диске для дальнейшего вывода как на экран монитора, так и для записи на видеоноситель-видео пленку или компакт-диск.

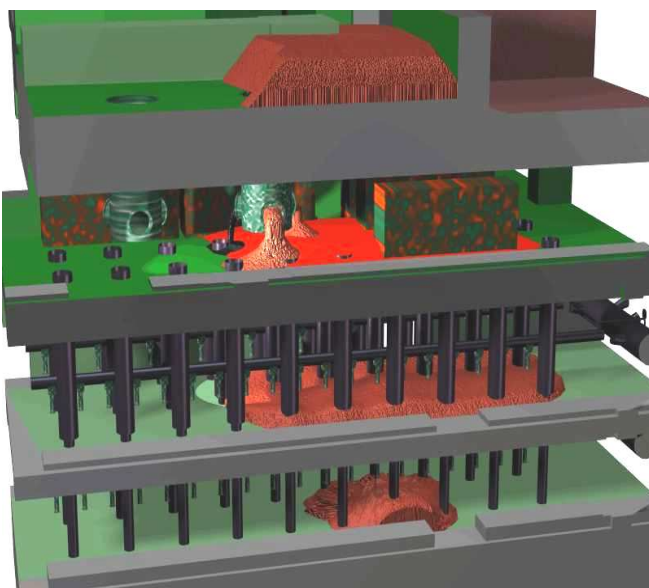


Рис. 1. Распространение первого потока ТСМ в помещениях 305/2, 207/6, 012/15, 012/7.

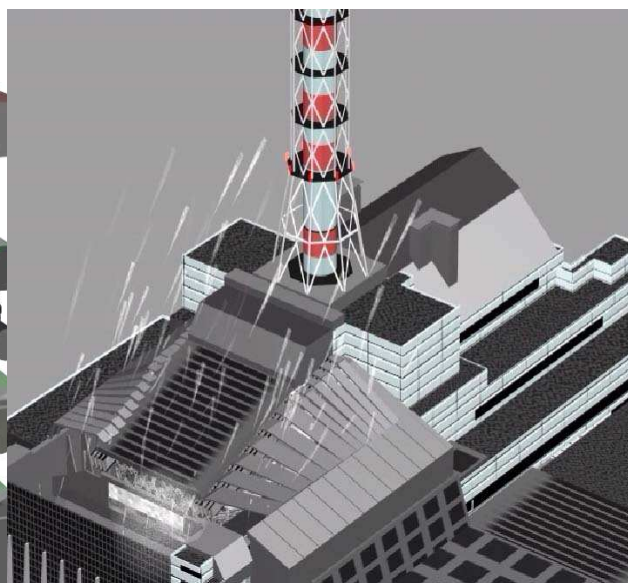


Рис. 2. Моделирование обрушения кровли объекта «Укрытие».

### **Моделирование перемещения строительных конструкций при прогнозируемых аварийных ситуациях на объекте «Укрытие»**

В качестве иллюстрации используемой технологии [12] в программе *3D Studio max* был разработан проект прогнозируемого обрушения кровли объекта «Укрытие» на основании механизма обрушения кровельных конструкций, изложенного в работе [15]. Фрагмент анимации данного проекта приведен на рис. 2.

### Визуальное представление схем маршрутов доступа по стабилизационным мероприятиям на объекте «Укрытие»

Технология создания компьютерного анимационного проекта для маршрутов перемещения основана на применении программных продуктов и оборудования: трехмерного моделирования и визуализации *3D Studio MAX R4.2* и платы нелинейного видеомонтажа *RT 2500 MATROX* с программным обеспечением *Adobe Premiere 6.0*. Она предусматривает возможность интеграции различного вида информации - растрового изображения (фотографии или видеосъемки существующих объектов) и векторной трехмерной модели проектируемой конструкции (рис. 3).

На основе разработанных трехмерных моделей промплощадки и объекта «Укрытие» изготовлены восемь компьютерных фильмов длительностью около 1-2 мин каждый. Фильмы выполнены с использованием компьютерной трехмерной анимации, графики, видео- и фотоматериалов, а также ввода титрами дополнительной информации – мощности дозы и суммарной дозы рентгеновского излучения, времени прохождения маршрута, строительных координат (оси, ряды) и др. (рис. 4).

Исходные данные для разработки получены, главным образом, при проведении предпроектных исследований и разработке проекта стабилизации объекта «Укрытие».



Рис. 3. Проектируемые металлоконструкции усиления западного фрагмента „Укрытия”.

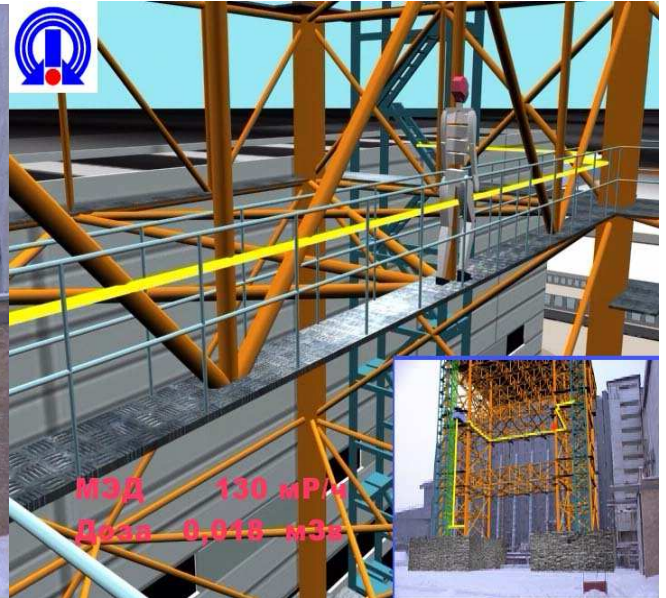


Рис. 4. Маршрут доступа по стабилизационному мероприятию 2-2-2 на отметке 41.6 м.

Визуализация информации осуществлялась при реализации следующих событий:

- прохождения по маршрутам к местам выполнения работ (рис. 5);
- экранирования зон повышенного радиационного воздействия;
- монтажа проектируемых строительных конструкций;
- демонтажа существующих строительных конструкций.

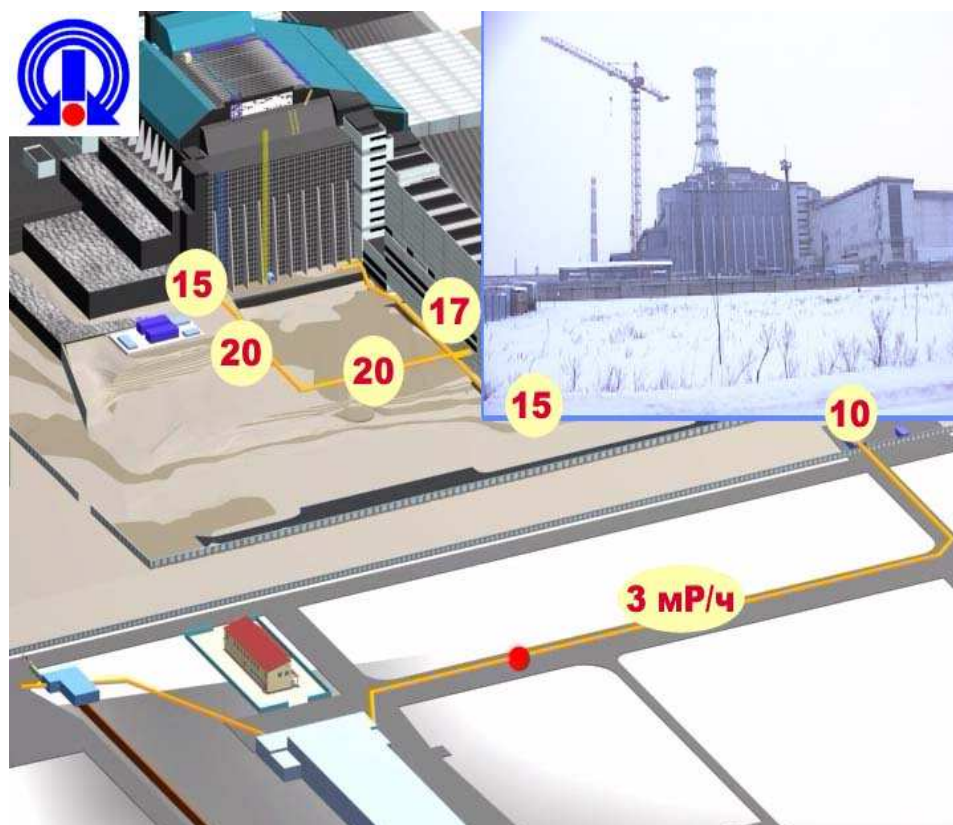


Рис. 5. Схема маршрутов доступа по стабилизационным мероприятиям объекта Укрытие.

### Выводы

Применение КГ в процессе преобразования объекта «Укрытие» может позволить принимать обоснованные решения о целесообразности той или иной деятельности (принцип "оправданности"), обеспечить более высокий уровень планирования работ с целью недопущения превышения установленных пределов доз и допустимых уровней (принцип "непревышения"), выбрать оптимальные технические решения и оптимизировать радиационную защиту (принцип "оптимизации").

В силу того, что указанные принципы радиационной безопасности регламентированы действующими в Украине нормативными документами (НРБУ-97, НРБУ-97/Д-2000), развитие и применение КГ должно стать постоянной практикой во всей деятельности по преобразованию объекта «Укрытие».

Для соблюдения принципа "ответственности перед будущими поколениями" необходимо разработать системный подход в подборе и систематизации фото-, видео- и КГ-материалов, наиболее полно освещающих все этапы преобразования объекта «Укрытие», начиная с его строительства и стабилизации, заканчивая захоронением ТСМ в стабильных геологических формациях и снятием с эксплуатации НБК.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др. Опыт работы МНТЦ "Укрытие" по пакету А в рамках плана осуществления мероприятий (SIP) // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вып. 9. - С. 118 - 123.
2. Алешин А.М., Батий В.Г., Ключников А.А. и др. Анализ концептуальных проектов преобразования объекта "Укрытие" // Наукові та технічні аспекти міжнародного співробітництва в Чорнобилі. - Славутич: Укратомвидав, 2000. - С. 283.

3. Рудько В.А., Батий В.Г., Кузьменко В.А. и др. Оценка дополнительных воздействий на окружающую среду и рекомендуемые мероприятия по их минимизации в процессе подготовки площадки для строительства санпропускника // Проблемы Чернобиля. - 2003. - Вип. 12. - С.106 - 111.
4. Алешин А.М., Батий В.Г., Глухенький В.Н. и др. Анализ безопасности реализации проекта стабилизации опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 // Там же. - 2000. - Вип.6. - С. 25.
5. Алешин А.М., Батий В.Г., Деренговский В.В. и др. Анализ радиационной безопасности при проведении стабилизационных мероприятий на объекте "Укрытие" // Там же. - 2001. - Вип.7. - С. 65.
6. Алешин А. М., Батий В. Г., Егоров В. В. и др. Измерение угловых распределений интенсивности гамма-излучения в зонах производства работ по стабилизации объекта "Укрытие". - Чернобыль, 2002. - 47 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ "Укрытие"; 02-1).
7. Августов В.В., Батий В. Г., Егоров В. В. и др. Эффективная энергия и спектр гамма-излучения скоплений радиоактивных отходов объекта "Укрытие". - Чернобыль, 2002. - 39 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ "Укрытие"; 02-3).
8. Алешин А. М., Батий В. Г., Ключников А. А. и др. Безопасный конфайнмент для преобразования объекта "Укрытие" (технологические аспекты) // Проблемы Чернобиля. -2001. - Вип. 7. - С. 41.
9. Батий В.Г., Ключников А.А., Кузьменко В.А. и др. Особенности и проблемы снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС // Там же. - С .6 - 14.
10. Алешин А.М., Батий В.Г., Кочнев Н.А. и др. Анализ безопасности завода по переработке жидких радиоактивных отходов Чернобыльской АЭС // Там же. - С. 171.
11. ДСТУ 2939-94. Системи оброблення інформації. Комп'ютерна графіка. Терміни та визначення. - Київ: Держстандарт України, 1995.
12. Проблемы стабилизации строительных конструкций и преобразование объекта «Укрытие» ЧАЭС / П. Кривошеев // Научные и технические аспекты международного сотрудничества в Чернобыле: Сб. науч. ст. и докл. - Славутич: Укратомиздат, 1999.
13. 3D Studio for Beginners / Jim Lammers, Michael Todd Peterson. // New Riders Publishing, Indianapolis, IN, 1996.
14. Моделирование реального состояния объекта "Укрытие" в 3D измерении / С. Подберезный // Проблемы Чернобиля. - 2001. - Вип. 7. - С. 212 - 214.
15. Богатов С. А. Оценка радиологических последствий аварии, связанной с обрушением кровельных конструкций объекта «Укрытие». - М., 2001. - 29 с. - (Препр. / IBRAE-2001-06).

Поступила в редакцию 14.10.04,  
после доработки - 17.11.04.

**7с КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І ЗОН ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ  
НА ОБ'ЄКТІ „УКРИТТЯ”**

**О. О. Ключников, В. М. Рудько, В. Г. Батій, Л. І. Павловський, С.С. Підберезний**

Обґрунтовано необхідність широкого застосування комп'ютерної графіки в процесі перетворення об'єкта "Укриття" в екологічно безпечну систему та наведено приклади її застосування при розробці проекту стабілізації будівельних конструкцій об'єкта «Укриття».