

К.А. Чижов

(ГНЦ ФМБЦ имени А.И. Бурназяна ФМБА России;
e-mail: fmbsc-fmba@bk.ru)

ПРОГРАММЫ ТРЁХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ РАБОТ

Показана возможность использования виртуальных моделей сценариев радиационно-опасных работ для оптимизации дозовых нагрузок персонала.

Ключевые слова: радиационная безопасность, дозиметрия.

К.А. Chizhov

PROGRAM OF THREE-DIMENSIONAL MODELING FOR OPTIMIZATION RADIATION DOSES OF THE STAFF DURING RADIATION HAZARDOUS OPERATIONS

The possibility of using virtual models of scenarios of radiation hazardous operations for optimization radiation doses of the staff.

Key words: radiation safety, dosimetry, virtual.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 10 апреля 2014 г.

Введение

В 2011-2013 гг. ГНЦ ФМБЦ имени А.И. Бурназяна совместно с Институтом энергетических технологий (IFE, г. Халден, Норвегия) разработали проект системы "Средства динамической визуализации радиационной обстановки" (шифр "DRIVE"). Проект DRIVE был направлен на дальнейшее совершенствование регулирующего надзора за безопасностью с использованием средств оптимизации стратегии обращения с радиоактивными отходами и путём повышения радиационной безопасности за счёт лучшей информированности персонала о радиации на территории губы Андреева.

Результатом работы стал набор компьютерных программ для визуализации радиационной обстановки и оценке доз персонала. Программное обеспечение было установлено на компьютеры *Северо-Западного центра по обращению с радиоактивными отходами "СевРАО"* – филиала "Предприятия по обращению с радиоактивными отходами "РосРАО" (СЗЦ "СевРАО" – филиал "РосРАО"), а сотрудники предприятия обучены работе с ними.

Одна из них носит название Andreeva Planner и применяется для планирования и оптимизации радиационно-опасных работ в отделении "Губа Андреева" СЗЦ "СевРАО". Данная компьютерная программа позволяет создавать и проигрывать различные сценарии проведения работы. Выполнение каждого сценария (варианта) сопровождается вычислением эффективной дозы каждого из виртуальных участников работы.

Главная идея создания Andreeva Planner состоит в том, чтобы получить передовую технологию анализа ситуации облучения, доступную для широкого круга пользователей, которым может пригодиться интерактивное трёхмерное визуальное представление радиационных рисков. Что позволит легче применять для оптимизации принцип ALARA¹. Объединяя радиологическую информацию с 3D-моделями ядерных объектов и окружающей среды, в целях содействия планированию и выполнению работ, на основании информации о рисках, мы стремимся поддерживать оптимизацию радиационной защиты для работ, проводимых в ядерных средах, и укреплять культуру безопасности, повышая понимание радиационных рисков заинтересованными сторонами, тем самым внося свой вклад в укрепление безопасности ядерных объектов.

Согласно [1], на этапе *планирования радиационно-опасных работ* должны быть рассмотрены различные варианты их выполнения. Приоритет отдаётся вариантам с наименьшими дозозатратами. При этом предпочтительными являются способы выполнения работы с наименьшими индивидуальными дозами персонала. Преимущество должны иметь также те варианты проведения работ, которые с учётом экономических факторов обеспечивают минимальные выбросы и сбросы радиоактивности, а также минимальное количество образующихся радиоактивных отходов. И большую часть подготовки к работе можно выполнить с использованием Andreeva Planner.

В документе [2] говорится, что "Для проведения экспериментальной имитации отдельных аварийных ситуаций с последующим измерением параметров радиационной обстановки следует ... определить перечень аварийных ситуаций, которые можно симитировать в реальных условиях (а в последующем и на других объектах, при транспортировании *отработавшего ядерного топлива (ОЯТ)* и др.). Определить необходимые и достаточные меры по обеспечению требований ядерной и радиационной безопасности при проведении моделирования аварийных ситуаций, исключаящих какую-либо опасность для персонала и исследователей". Что также подтверждает важность использования Andreeva Planner в работах на СЗЦ "СевРАО".

В результате использования Andreeva Planner мы получим набор всех мыслимых вариантов выполнения радиационно-опасной работы с наборами индивидуальных доз для всех исполнителей каждого из сценариев и коллективной дозой по каждому варианту. В этом случае не представляет труда выбрать вариант, соответствующий принципу оптимизации, то есть вариант с наименьшей дозой (рис. 1).

Andreeva Planner позволяет не только выбирать оптимальный вариант работы, но и является виртуальным тренажером, который в предельно наглядной форме позволяет исполнителю убедиться в том, к каким негативным последствиям приведет то или иное отклонение от оптимального варианта (рис. 2). Целью создания обучающих сценариев является реализация принципа радиационной защиты персонала временем.

¹ Принцип оптимизации называют также принципом ALARA (As Low As Reasonable Achievable – настолько низко, насколько это разумно достижимо). ALARA – это концепция ограничения дозы, базирующаяся на принципах минимизации уровней облучения с учётом экономической и социальной целесообразности

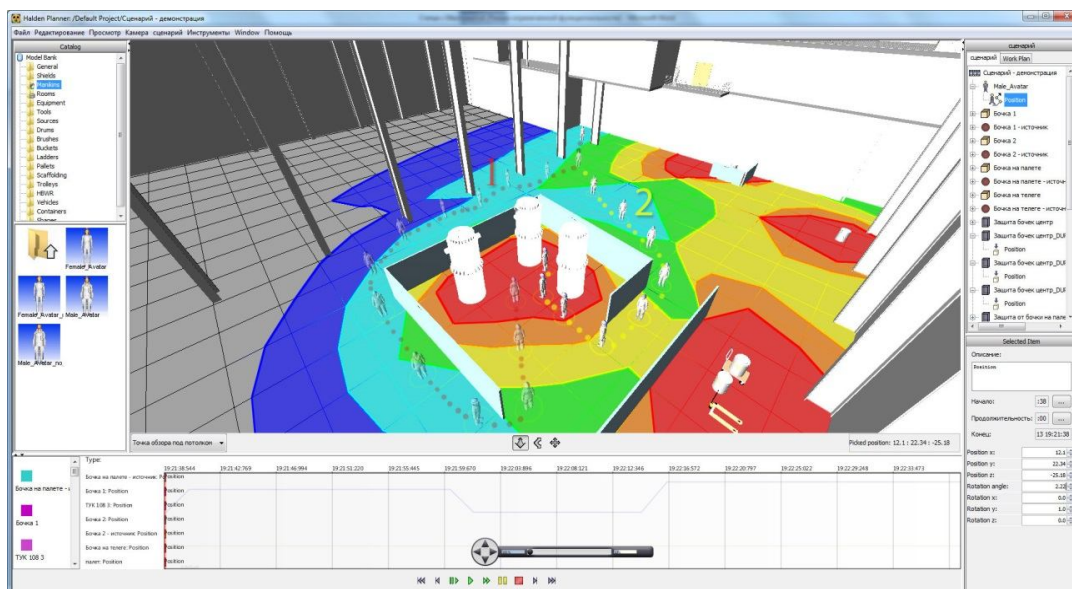


Рис. 1. Моделирование различных вариантов выполнения сценария

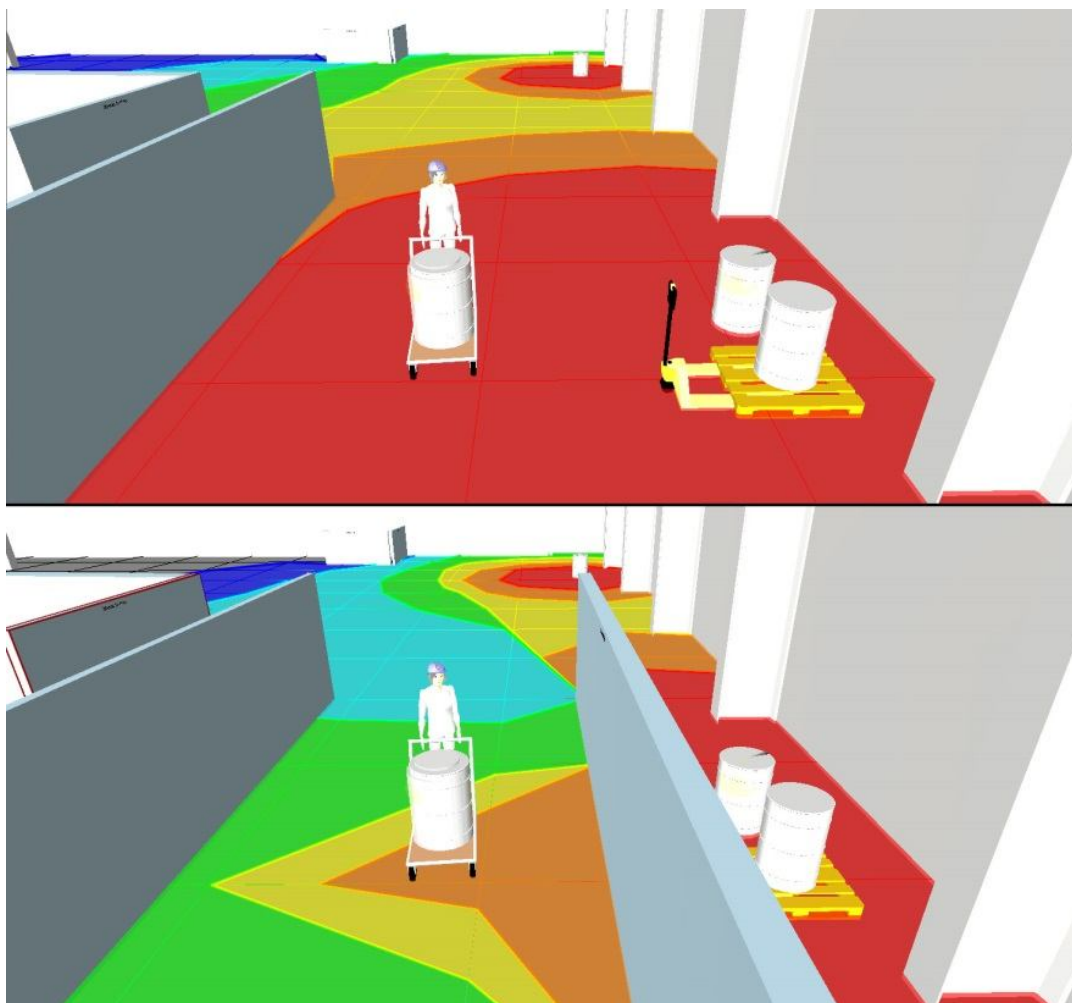


Рис 2. Пример изменения радиационного поля при добавлении в сценарий дополнительной защиты

Создание 3D моделей

На основе проектных чертежей были созданы детальные 3D-модели 4-х зданий и модель промплощадки объекта, четыре вида контейнеров, модель крана и манипулятора (рис. 3).

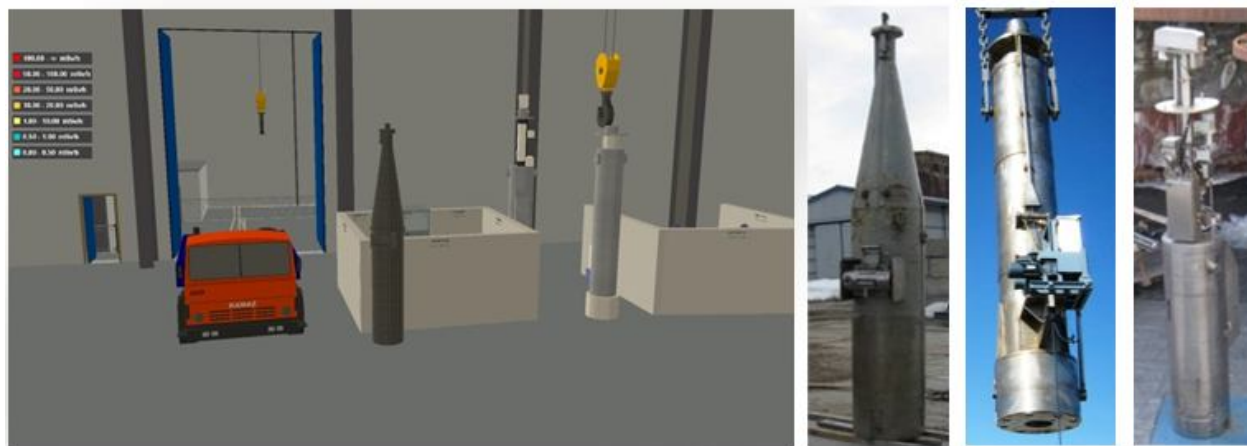


Рис. 3. Фотографии контейнеров и их 3D-модели

Алгоритм расчёта доз

Andreeva Planner снабжён четырьмя алгоритмами расчёта. Три из них основаны на методах расчёта точка-ядро для оценки дозы, вклада изотопов в дозу и эффекта экранирования, а четвертый – "псевдокалькулятор", который не вычисляет дозу как таковую, но осуществляет сопоставление с данными из дозовых карт, заранее рассчитанных по сторонним программам [3].

Встроенные алгоритмы расчёта обладают достаточной точностью и могут хорошо справиться с динамически меняющимися ситуациями с реакцией, близкой к реальному времени. Изменения источников и условий или свойств защиты запускает немедленную корректировку радиационной обстановки и всех связанных с этим визуальных представлений. Andreeva Planner рассчитывает накопленные дозовые эквиваленты для виртуальных дозиметров с использованием либо данных реального времени, либо исходных данных, предварительно рассчитанных по дозовым картам:

1. Базовая расчётная модель основана на методе "точечного ядра" (point kernel), дозиметрической технике для вычисления радиационной нагрузки от внешних гамма-источников (точечный, линейный и плоский), коэффициентах ослабления излучения в веществе и факторах накопления через эквивалентную дозу.

2. Расширенная расчётная модель – это расширенная версия Базовой модели, основанная на приемлемых для пользователя коэффициентах взаимодействия, коэффициентах преобразования единиц-флюенса-в-дозу и соответствующих коэффициентах накопления. Она рассчитывает амбиентный дозовый эквивалент $H^*(10)$.

3. Третий расчётный алгоритм рассчитывает персональный дозовый эквивалент $H_p(10)$.

Моделирование сценариев

Рассмотрим два сценария, смоделированные в программе Andreeva Planner. В процессе подготовки сценариев мы неоднократно устраивали рабочие совещания с сотрудниками отделения "Губа Андреева СЗЦ "СевРАО", Межрегионального управления №120 ФМБА России, а также изучали литературу по схожим операциям выгрузки *отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС)*.

Сценарий № 1: извлечение со дна бассейна здания 5 находящихся там ОТВС. Обстановка характеризуется высокими уровнями мощности дозы гамма-излучения. Используется робототехника. Предложения на выполнение работ по удалению ОТВС со дна правого малого бассейна хранилища разработаны совместно АНО "МЦЭБ", ОАО "НИКИЭТ" и ОАО "Головной институт "ВНИПИЭТ". На основе их рекомендаций был смоделирован сценарий в Andreeva Planner (рис. 4).

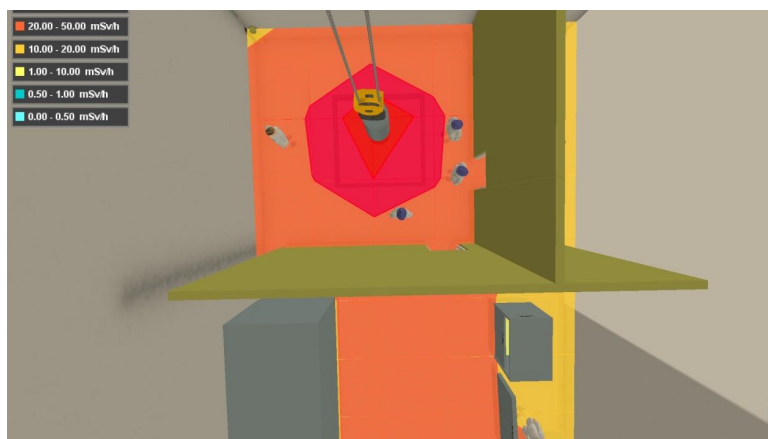


Рис. 4. Помещение чехла в контейнер над транспортным коридором

Сценарий № 2: извлечение чехла с ОТВС из ячейки емкости, перечехловка ОТВС для размещения в чистом чехле, размещение чехла в транспортно-упаковочном контейнере (рис. 5).

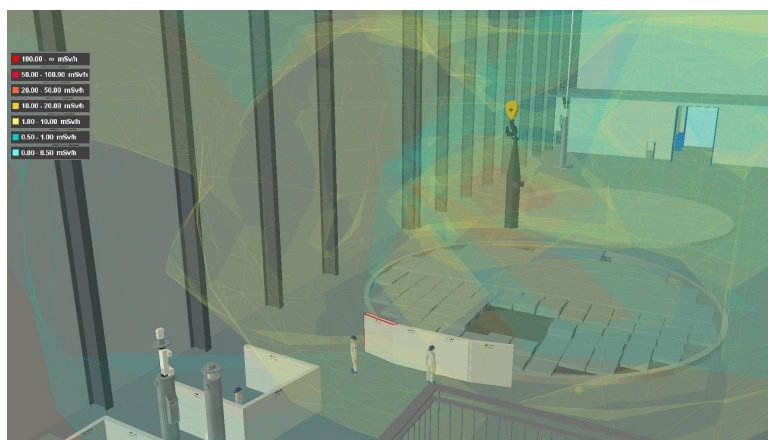


Рис. 5. Подъем контейнера с ОТВС.
Трёхмерное отображение радиационной обстановки

Подготовка персонала и допуск к работам

Программа Andreeva Planner может быть включена в комплекс по подготовке персонала, который содержит следующие позиции:

- вводный инструктаж;
- обучение и проверка знаний по радиационной безопасности, допуск к работам с радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения;
- первичный инструктаж на рабочем месте;
- проверка знаний по правилам пожарной безопасности, охране труда, должностной инструкции, стажировка на рабочем месте, допуск к самостоятельному исполнению обязанностей по занимаемой должности;
- обучение и проверка знаний по правилам ядерной безопасности;
- обучение руководителей работ, начальников смен по правилам безопасности и организации работ при выгрузке ОЯТ;
- обучение персонала филиала по технологии, правилам эксплуатации перегрузочного оборудования и правилам безопасного ведения работ при выгрузке ОЯТ.

Оптимизация сценариев

После создания версии сценария, можно работать над его оптимизацией. Оптимизация включает в себя 3 позиции:

1. Изменение траекторий и времени нахождения в определенных секторах сценария для персонала.
2. Установку дополнительных защит и изменение параметров текущих щитов.
3. Изменение количества участников работ.

Для сравнения сценариев в программе существует инструмент, позволяющий вычислить различие между ними по 4-м параметрам: общая длительность сценария в часах, общая длительность в человека-часах, максимальный индивидуальный эквивалент амбиентной дозы и коллективная доза. Аналитическая задача "сравнение сценариев" строит графики, где показывает разницу в параметрах в абсолютных значениях.

Для сравнения мы взяли два примера – с защитой и полностью без неё. Время выполнения и количество задействованного персонала остались неизменными.

Для сценария № 1 разница оказалась таковой: при использовании защиты максимальный амбиентный эквивалент дозы сократился на 14 %, а коллективная доза (коллективный амбиентный эквивалент дозы) сократилась на 11 %.

Для сценария № 2: при использовании защиты максимальный амбиентный эквивалент дозы сократился на 7 %, а коллективная доза (коллективный амбиентный эквивалент дозы) сократилась на 13 %.

Благодаря этой программе можно планировать дозовые нагрузки и работать с понятием оптимизации в конкретных числах.

Аварийный сценарий

Выполнение комплекса технологических операций по обращению с ОЯТ (выгрузка старого чехла с ОТВС, выгрузка ОТВС из старого чехла и её пере-чехловка и др.) вследствие возможных ошибок персонала, отказов оборудования и других причин, детально изложенных в работе [НИКИЭТ 2004 а, б], может привести к нарушению нормального хода выполнения технологической операции, нарушению установленных пределов безопасной эксплуатации и радиационной аварии. В сложившихся на объектах СевРАО неблагоприятных, с точки зрения радиационной обстановки, условиях, как нештатные, так и штатные технологические операции, не говоря уже об аварийно-восстановительных, могут быть отнесены к радиационно-опасным.

Для снижения дозы облучения персонала от СЦР, в соответствии с требованиями п. 3.13.5 [4], п. 6.23.6 [5], в зданиях и сооружениях объекта установлены системы САС. Расположенная в монтажном зале аппаратура САС по регистрации мощности дозы выдает аварийный световой и звуковой сигналы об эвакуации персонала. При таком развитии событий, за 5-10 минут (время выхода персонала из монтажного зала), возможно внешнее облучение в дозе порядка 2,5-5 мЗв.

Нами, в качестве аварийного сценария, был рассмотрен вариант сценария № 2, когда контейнер падает на пол при подъёме его из ёмкости БСХ (рис. 6). Были рассчитаны дозы, которые получит персонал при эвакуации из помещения. Время на выход было взято 5 минут, в таком случае максимальный амбиентный эквивалент дозы персонала равен 0,8 мЗв, что не превышает предельно допустимые уровни.

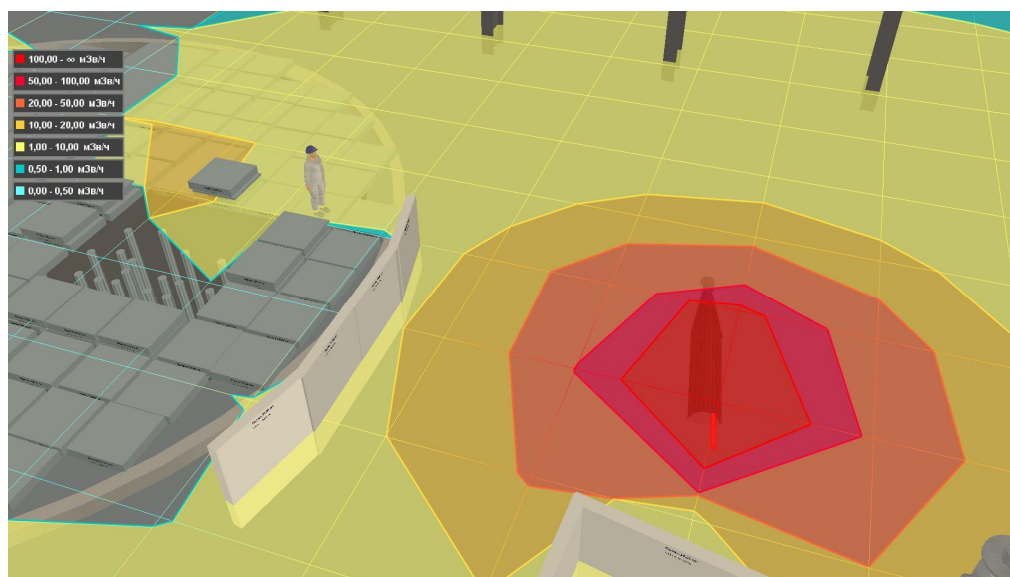


Рис. 6. Аварийный сценарий, падение контейнера с ОТВС

Далее, специалистами служб РБ разрабатывается план по ликвидации последствий аварии. При этом, в работах принимает участие персонал из специальной бригады, для которого устанавливаются свои (более высокие, чем рекомендованные [5]) допустимые уровни облучения.

Литература

1. **Особенности** применения принципа ALARA при обращении с ОЯТ и РАО в филиале № 1 ФГУП "СевРАО": методические указания. МУ 2.6.1.05-08.
2. **Основные** санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). СП 2.6.1.799-99. М.: Минздрав России, 2000. 98 с.
3. **Чижов К.А., Симаков А.В., Крючков В.П.** Метод решения аналитических задач для обеспечения радиационной безопасности персонала при планировании работ по ликвидации последствий аварии на основе интерполяции радиационных полей // Аппаратура и новости радиационных измерений. 2013. № 2. С. 70.
4. **ОБИН.** Том 21. Обеспечение ядерной безопасности // 0333-ОБИН. Инв. № 05-05414.
5. **Рекомендации** 2007 года Международной комиссии по радиационной защите. Публикация МКРЗ № 103. М., 2000 г.
6. **Нормы** радиационной безопасности. НРБ-99/2009. Гигиенические нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. М., 2009.