

Применение трехмерного моделирования для минимизации последствий аварийных ситуаций на ядерно- и радиационноопасных объектах

Агапов А.М., Линге И.И., Семенов В.Н., Осипьянц И.А., Павловский О.А., Чуданов В.В., Кононов В.В., Тихоновский В.Л., Чуйко Д.В., Бунто П.А.

Минимизация последствий аварийных ситуаций на промышленных объектах во многом основывается на возможности оперативного принятия адекватных решений в условиях скоротечного изменения окружающей обстановки. Аварии на ядерно- и радиационно-опасных объектах могут иметь особенно негативные последствия, так как связаны с возможным нарушением защитных барьеров и распространением радиоактивных веществ в приземном слое воздуха, с возможным последующим радиоактивным загрязнением территорий.

Принятие обоснованных решений именно на начальных стадиях развития и ликвидации аварийной ситуации в наибольшей степени может обеспечить эффективное использование имеющихся сил и средств для скорейшей ликвидации аварии и минимизации ее последствий. Однако на сегодняшний день специалистам и руководителям служб и подразделений, участвующим в ликвидации последствий аварийных ситуаций, как правило, на начальном этапе приходится работать в условиях недостатка информации и исходных данных об объекте. Зачастую принятие решений задерживается из-за необходимости поиска документации об объекте, ее обработки, доведения структуры и пространственной компоновки объекта до рядовых сотрудников служб и подразделений. Особенно сильно такие задержки могут проявиться при ликвидации аварий на производственных комплексах, имеющих сложную инфраструктуру.

В этой связи представляется весьма эффективным использование динамических легко управляемых трехмерных моделей площадок объектов (рис. 1) при ликвидации последствий аварии для оперативного информирования, управления и координации действий руководителей и специалистов служб и подразделений.



Рис. 1. Пример трехмерной модели площадки предприятия

Применение динамических легко управляемых трехмерных моделей 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. Интеграция трехмерных моделей с расчетными комплексами переноса загрязняющих примесей в приземном слое воздуха [1] для целей визуализации полученных расчетных данных на трехмерной модели объекта, позволит снизить негативное влияние последствий аварийных ситуаций на персонал объекта, население прилегающих территорий и специалистов аварийных служб.

На сегодняшний день в России для абсолютного большинства потенциально ядерно- и радиационно-опасных предприятий и населенных пунктов, находящихся в зонах влияния таких предприятий, подобные трехмерные модели не разработаны. Их создание только для объектов с наиболее высоким уровнем риска требует методичной и целенаправленной работы в течение нескольких лет. Однако прогнозируемое в последние годы увеличение количества техногенных и природных катастроф обуславливает особую необходимость отработки и применения подобных технологий уже в настоящее время.

Для решения указанной задачи авторами статьи в рамках реализации федеральной целевой программы ядерной и радиационной безопасности выполняются работы по созданию трехмерных моделей площадок АЭС (рис. 2) и разработке программного комплекса визуализации в трехмерном пространстве расчетных данных переноса радиоактивных примесей в приземном слое воздуха. Создание трехмерной модели площадки АЭС для целей моделирования аварийных ситуаций выполняется впервые. Для создания модели используется проектная документация, предоставляемая по официальному запросу соответствующими проектными организациями. Так как для задач расчета и визуализации переноса радиоактивных примесей важны, прежде всего, габариты зданий, сооружений и относительные расстояния между ними, то модель выполнена бройлерной[1] без излишней степени детализации.

[1] Бройлерная трехмерная модель площадки предприятия представляет собой трехмерную модель, созданную на основе проектной документации. На такой модели здания и сооружения отображаются габаритно с соблюдением относительных расстояний между ними. Детализация фасадов зданий и сооружений, кабельных и трубопроводных магистралей, периметра физической защиты, а также различных небольших объектов, как правило, не производится.

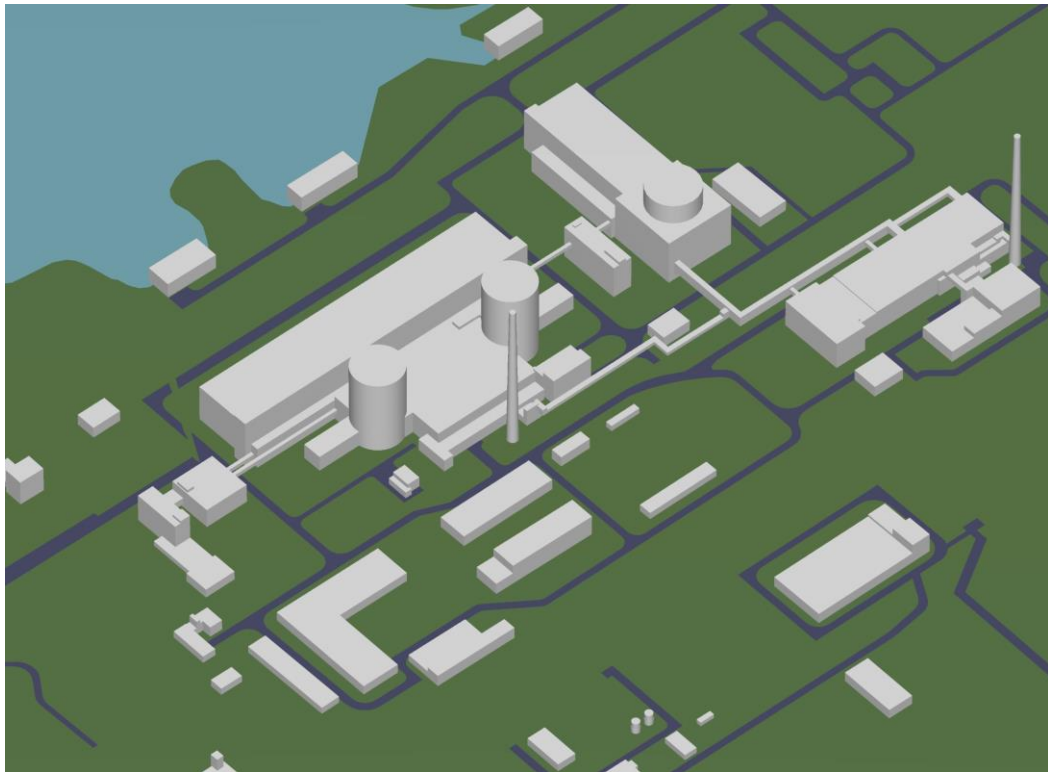


Рис. 2. Пример бройлерной трехмерной модели площадки АЭС

Разработанная трехмерная модель используется для решения двух задач:

- передачи в расчетный комплекс для расчета радиоактивных примесей в приземном слое воздуха [1] данных о геометрии зданий и сооружений на площадке;
- визуализации и представления расчетных данных о распределении радиоактивных примесей в трехмерном пространстве модели.

Для выполнения первой задачи данные трехмерной модели готовятся в определенном формате, согласованном с гидродинамическим расчетным кодом. Моделирование воздушных течений в областях сложной геометрии промплощадок или городской застройки осуществляется на основе решения трехмерных уравнений Навье-Стокса с соответствующими граничными условиями на твердых поверхностях и с использованием моделей турбулентности. Расчет распространения примесей в вычисленном ветровом поле производится на основе решения трехмерного уравнения адвекции-диффузии с коэффициентами турбулентного обмена, следующими из модели турбулентности [1, 2]. Для примесей в аэрозольной форме рассчитывается осаждение частиц на горизонтальных и вертикальных поверхностях. Влияние устойчивости атмосферной стратификации может быть учтено заданием вертикального градиента температуры.

Для выполнения второй задачи разработан специализированный программный модуль, который представляет собой дополнение для среды визуализации 3D Studio MAX версии 8 или выше. Выбор среды 3D Studio MAX для создания модуля связан с применением этого программного обеспечения для создания STL-моделей объектов городской застройки и/или промплощадок, передаваемых затем в расчетный комплекс для создания трехмерной математической модели объемного распределения характеристик радиационного загрязнения. Последующая визуализация указанных характеристик радиационного загрязнения, собственно, и является задачей программного модуля. В частности, в окончательном варианте модуль на основе данных расчетного комплекса будет обеспечивать:

- визуальное представление в трехмерном пространстве на бойлерных трехмерных моделях геометрии городской застройки и/или промплощадок объемного распределения концентраций радиационного загрязнения в приземном слое воздуха;
- визуальное представление в трехмерном пространстве на бройлерных трехмерных моделях геометрии городской застройки и/или промплощадок поверхностного распределения плотностей выпадений радиоактивного загрязнения;
- визуальное представление в трехмерном пространстве на бройлерных трехмерных моделях геометрии городской застройки и/или промплощадок векторных полей переноса радиоактивного загрязнения.

На текущий момент реализована функциональность по визуализации *объемного распределения концентраций радиационного загрязнения в приземном слое воздуха*. В рамках созданной реализации, модуль (совместно с базовым функционалом среды 3D Studio MAX) на основе применения трехмерной модели площадки и расчетных данных программного комплекса позволяет:

- создавать на основе трехмерные модели с визуализированным объемным распределением концентрации радиоактивных загрязнений (рис. 3-5);
- отображать разрезы, получаемые при сечении плоскостью трехмерной модели с визуализированным объемным распределением концентрации радиоактивного загрязнения (рис. 6);
- получать данные о концентрации радиоактивного загрязнения в выбранной визуализируемой точке;
- создавать фильмы в формате avi для визуализации временной эволюции объемного распределения концентраций радиоактивного загрязнения.

Необходимо отметить, что выполненная работа была, прежде всего, направлена на отработку технологий создания и применения трехмерных моделей ядерно- и радиационно-опасных предприятий для возможностей имитационного моделирования аварийных ситуаций, осуществления тренировок персонала и снижения, тем самым, последствий возникновения аварийных ситуаций.

Результаты работы, накопленный в процессе ее выполнения работы опыт, разработанные средства и информационные технологии, позволяют говорить о целесообразности и практической возможности последовательного создания трехмерных моделей площадок АЭС и других предприятий ядерно-энергетического комплекса для снижения влияния последствий возможных чрезвычайных ситуаций. В частности, в настоящее время аналогичная работа проводится для ряда АЭС.

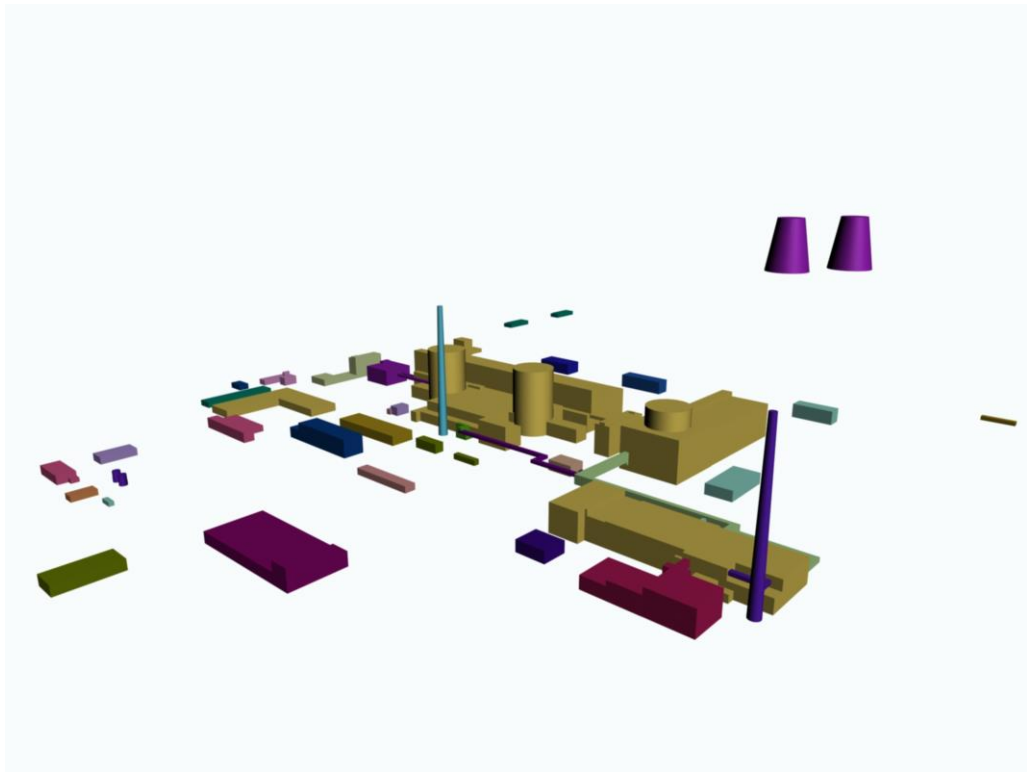


Рис. 3. Кадр видеоролика облета площадки АЭС, демонстрирующего модель распространения радиоактивного загрязнения (до момента выброса)

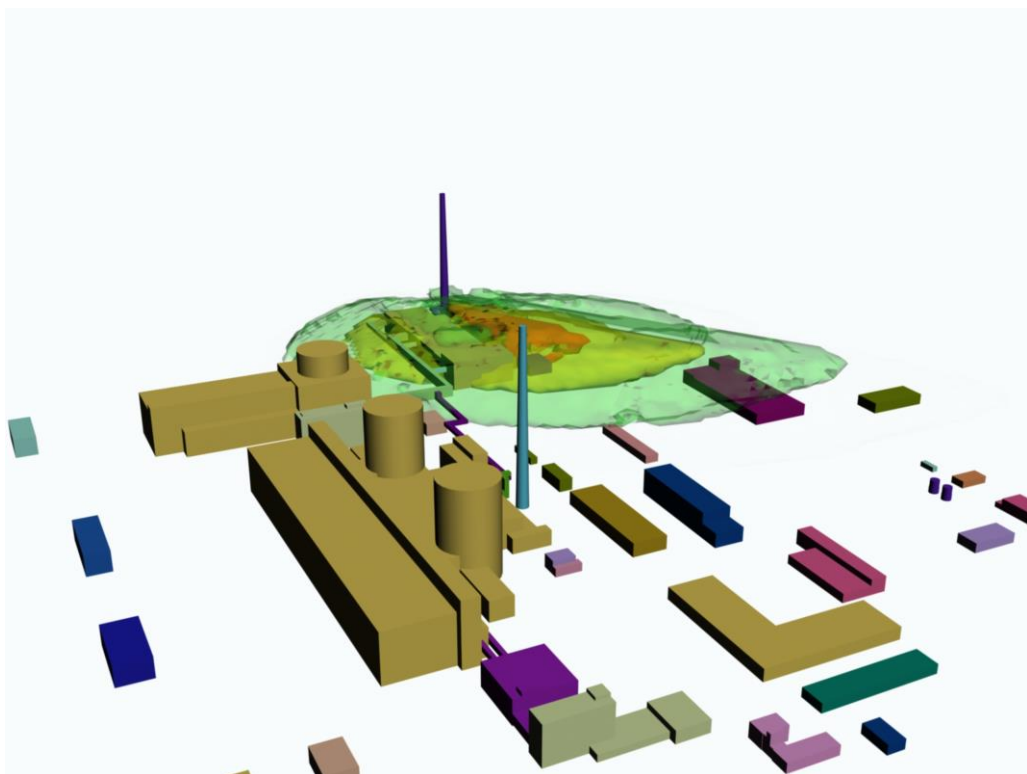


Рис. 4. Кадр видеоролика облета площадки АЭС, демонстрирующего модель распространения Радиоактивного загрязнения (29 мин 04сек после момента выброса)

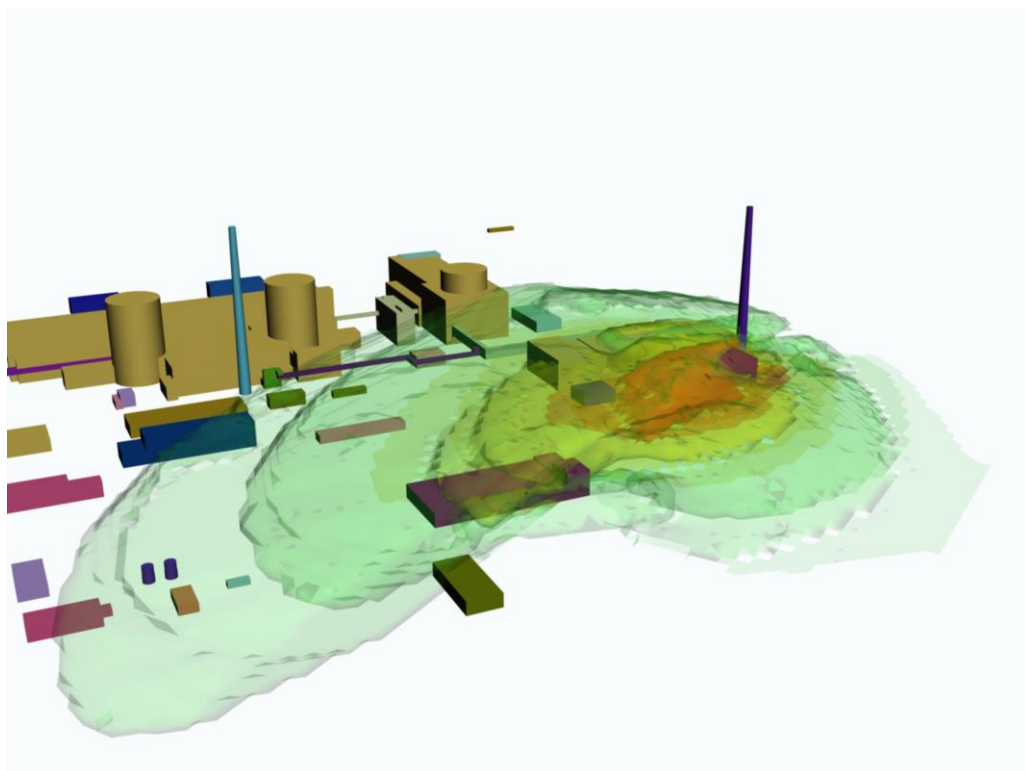


Рис. 5. Кадр видеоролика облета площадки АЭС, демонстрирующего модель распространения радиоактивного загрязнения (37 мин 17сек после момента выброса)

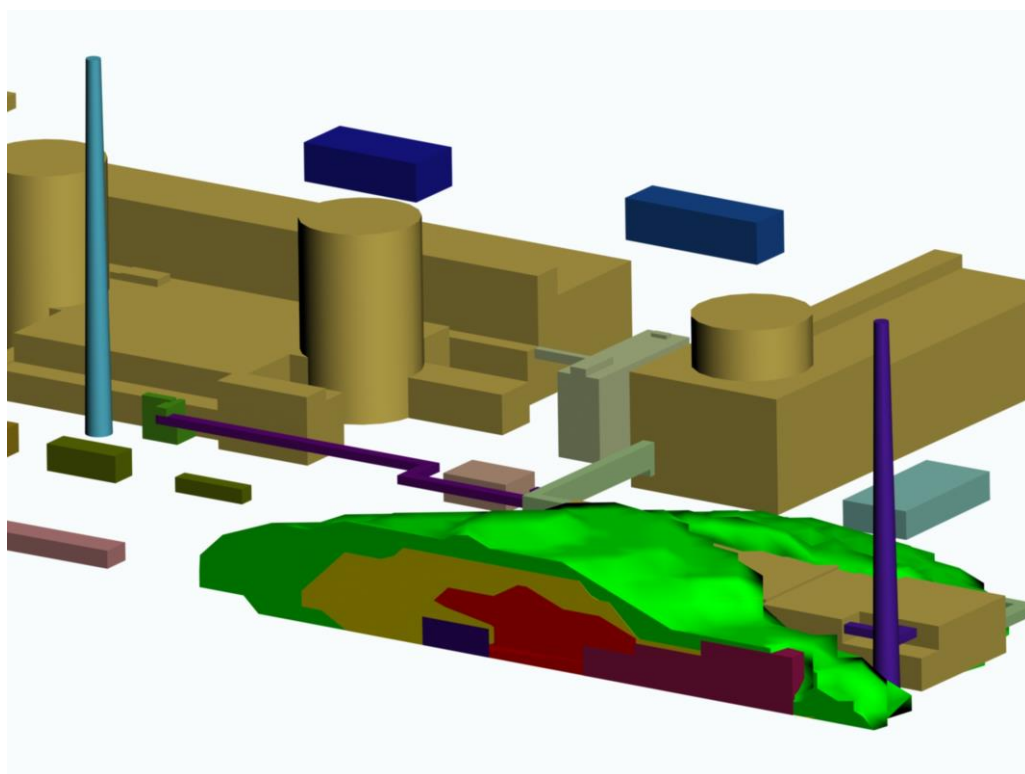


Рис. 6. Разрез "облака" радиоактивного выброса в районе эпицентра.

Ссылки:

1. Pavlovskii O.A., Tchoudanov V.V. Application 3D dynamic model for estimation the consequences of "dirty bomb" blasting in urban conditions. *Proc. of ANS Winter Meeting Washington, DC, 2002*, (Radiological Terrorism — Direct and Indirect Impacts of RDD Events), 17-21 November, 2002.
2. Павловский О.А., Чуданов В.В. Развитие и применение 3-D динамической модели переноса загрязнений в городских условиях. Международная научно-практическая конференция «Аэрозоли и безопасность», тезисы докладов. Обнинск, 2005, с. 55-56.