

E.N. Nikulin, E.N. Sergeev, A.I. Panteleev, S.A. Kuznetsov, S.V. Filimon

COMPUTER VISUALIZATION AS METHOD OF VERIFICATION OF SIMULATION MODELS OF COMPLEX DYNAMIC PROCESSES

Evgeny Nikulin – professor, the Department of Ammunition and Means of Destruction, D. Ustinov Baltic State Technical University, Doctor of Engineering, professor, St. Petersburg; **e-mail:** nikulinen@rambler.ru.

Evgeny Sergeyev – senior design engineer, Transas Technologies, plc, PhD in Engineering; **e-mail:** es.spb@mail.ru.

Andrey Panteleev – deputy general director, ADERA Business security agency, PhD in Engineering, St. Petersburg; **e-mail:** anpanteleev@yandex.ru.

Sergey Kuznetsov – senior lecturer, the Department of Ammunition and Means of Destruction, D. Ustinov Baltic State Technical University, PhD in Engineering, St. Petersburg; **e-mail:** kuzya041983@mail.ru.

Sergey Filimon – senior lecturer, the Department of Ammunition and Means of Destruction, D. Ustinov Baltic State Technical University, PhD in Engineering, St. Petersburg; **e-mail:** sf_alba@mail.ru.

The article is devoted to the description of the module for three-dimensional display of data exported from the calculation program by means of a text file of the established format into the visualizer program in the MaxScript language, built-in in the Autodesk 3dsmax package. The module in question enables the user (developer) to exercise visual control of the correct operation of simulation models of complex dynamic processes connected with multiple transformations of the coordinate systems and intermediate transformations when debugging software, for example, when evaluating the effectiveness of fragmentation ammunition on armored targets from the point of view of common sense.

Keywords: splinter flow; simulation model; coordinate transformation; visualization; verification.

Е.Н. Никулин, Е.Н. Сергеев, А.И. Пантелеев, С.А. Кузнецов, С.В. Филимон

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КАК МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Евгений Николаевич Никулин – профессор кафедры «Боеприпасы и средства поражения», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, доктор технических наук, профессор, г. Санкт-Петербург; **e-mail:** nikulinen@rambler.ru.

Евгений Николаевич Сергеев – старший инженер-дизайнер, ЗАО «Транзас Технологии», кандидат технических наук, г. Санкт-Петербург; **e-mail:** es.spb@mail.ru.

Андрей Иванович Пантелеев – заместитель генерального директора, ООО «Агентство безопасности бизнеса "АДЭРА"», кандидат технических наук, г. Санкт-Петербург; **e-mail:** anpanteleev@yandex.ru.

Сергей Александрович Кузнецов – доцент кафедры «Боеприпасы и средства поражения», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, кандидат технических наук, г. Санкт-Петербург; **e-mail:** kuzya041983@mail.ru.

Сергей Васильевич Филимон – доцент кафедры «Боеприпасы и средства поражения», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, кандидат технических наук, г. Санкт-Петербург; **e-mail:** sf_alba@mail.ru.

Статья посвящена описанию разработанного модуля трёхмерного отображения данных, которые экспортируются из программы расчёта при помощи текстового файла установленного формата в программу-визуализатор, написанную на языке MaxScript, встроенном в пакет Autodesk 3dsmax. Данный модуль предоставляет возможность

пользователю (разработчику) осуществлять визуальный контроль правильности работы имитационных моделей (ИМ) сложных динамических процессов, связанных с многократным преобразованием систем координат и промежуточных преобразований при отладке программного обеспечения, например, при оценке эффективности действия осколочных боеприпасов по бронированным целям, с позиции здравого смысла.

Ключевые слова: осколочный поток; имитационная модель; преобразование координат; визуализация; верификация.

Создание сравнительно простых в реализации инженерных методик, но соответствующих по точности методикам высокого уровня, дающим возможность использовать их для решения широкого круга задач анализа и синтеза облика функционирования образцов на ранних этапах разработки, является весьма актуальной задачей.

Чрезвычайно важной в подобных случаях является уверенность в достоверности исходных данных, принятых за основу при оценке стойкости наружного бронирования и защищаемых броней уязвимых внутренних элементов типовых целей. Последнее невозможно без наличия обширного экспериментального материала в виде формализованных активных информационных ресурсов – специальных баз данных, создание которых является самостоятельной задачей.

Для повышения достоверности результатов машинного эксперимента в структуру имитационных моделей, используемых в программно-методическом комплексе [2], введена система исходных данных (далее – ИД) по уязвимости типовых одиночных бронированных целей (танк М1 «Абрамс», САУ М109, армейский автомобиль «Хаммер» и др.), включая характеристики элементов бронирования и уязвимых элементов, а также живой силы [1; 4] и функциональные схемы для различных гипотез их поражения. Для создания активных информационных ресурсов и решения задач математического моделирования использовались реляционные базы данных (далее – РБД), на которые возложена задача по проверке правильности ввода исходных данных ИД. На РБД также возлагалась задача накопления результатов как для каждого набора исходных данных, так и для каждого типа расчетов, проводимых с конкретным набором ИД, и хранения большого объема

промежуточных результатов не в массивах, а в статических или динамических таблицах. Обработка этих таблиц (сортировка, поиск, выборка) осуществляется средствами РБД намного проще, чем аналогичная обработка массивов в алгоритмических языках. Тестовые прогоны фрагментов имитационных моделей показали, тем не менее, что для оценки адекватности результатов расчетов и исходных данных недостаточно сравнения конечных числовых результатов с данными реальных экспериментов. При отработке ИМ важно понимание в правильности промежуточных преобразований координат всех элементов цели (для внешнего бронирования – координаты узловых точек листов, для внутренних поражаемых элементов – координаты центров сфер и координаты центров оснований цилиндров), как основном источнике вычислительных ошибок. По этой причине не меньшую актуальность приобретает визуализация как входных исходных данных, так и результатов работы промежуточных алгоритмов математической модели, которые описаны в [3].

Для визуального контроля исходных данных по бронецелям и анализа работы подпрограмм преобразований систем координат был разработан модуль трёхмерного отображения данных. Экспорт данных из программы расчёта производится при помощи текстового файла .txt установленного формата. Данный файл загружается в программу-визуализатор, написанную на языке MaxScript, встроенном в пакет Autodesk 3dsmax. Для пользователя (разработчика) предусмотрен доступ к трем системам координат, последовательный переход между которыми реализован в основной программе расчёта.

1. Система координат цели (рис. 1а). Используется для построения и визуальной проверки исходных данных по целям.

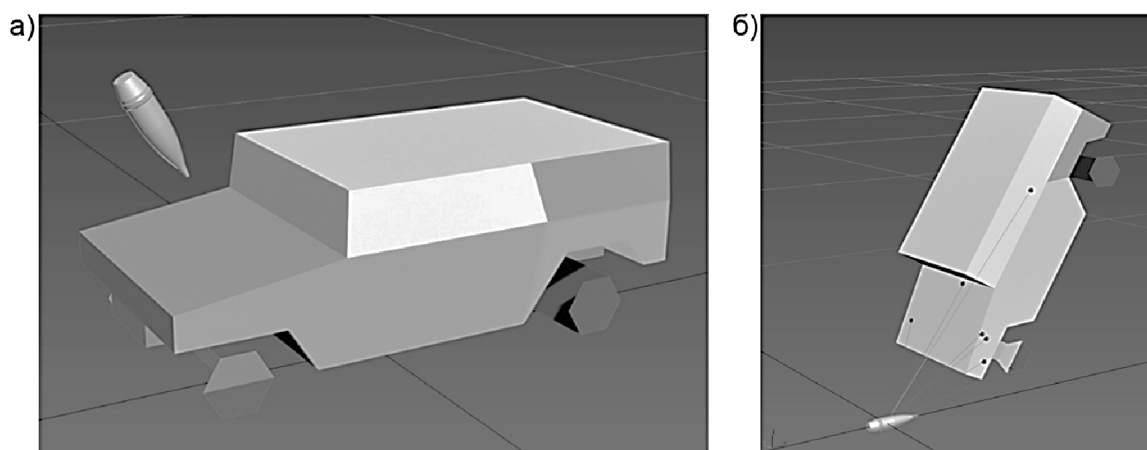


Рис. 1. Визуализация цели

Начало этой системы координат совпадает с проекцией на горизонтальную плоскость точки центра цели. Ось X здесь противоположна направлению движения цели, ось Z ориентирована вертикально вверх, а ось Y своим направлением дополняет тройку векторов до правой. В этой системе координат сформированы основные исходные данные ИД по бронированным и легкобронированным целям. Визуальный осмотр элементов, входящих в ИД цели, в среде трёхмерного моделирования позволяет проверить корректность формы цели.

Как правило, в данном отображении выявляются ошибки ручного ввода ИД. В этой же системе, при необходимости, отображается начальное расположение снаряда (поражающего элемента) в момент подрыва.

2. Система координат снаряда (рис. 1б). Используется для моделирования разлёта первичных осколков и определения факта их попадания в элементы цели. В расчётной программе происходит преобразование геометрических данных из первичной системы координат (система координат цели) в систему координат снаряда, где начало координат соответствует точке подрыва, ось X совпадает с направлением вектора скорости снаряда (поражающего элемента), оси Y и Z дополняют тройку осей до правой. Для визуальной проверки корректности такого преобразования в модуле визуализации строятся наружные и внутренние элементы цели. Для оценки корректности определения точек попадания в листы наружного бронирова-

ния цели эффективных осколков строятся их траектории и маркируются рассчитанные точки.

3. Системы координат осколков (рис. 2а, 2б). Этап преобразования в локальные системы координат для всех эффективных осколков, т.е. попадающих в цель и имеющих достаточную для пробития энергетику. Эти преобразования необходимы для расчёта действия вторичных осколков по внутренним уязвимым элементам. При этом начало координат соответствует точке встречи осколка с целью, ось X совпадает с направлением вектора его скорости, оси Y и Z дополняют тройку осей до правой. Корректность этого преобразования, а также корректность расчёта действия вторичных осколков можно проверить в модуле визуализации при выборе системы координат осколков и указании конкретного осколка, действие которого рассматривается. Отображение траектории начального осколка, точки встречи с целью и снопа вторичных осколков позволяет визуально оценить корректность расчётного алгоритма.

На данном этапе могут быть выявлены ошибки преобразования координат и «розыгрыша» вторичных осколков. Пример визуализации некорректной работы расчётной программы показан на рис. 2б. Здесь видно, что сноп вторичных осколков имеет неверную ориентацию относительно траектории первичного осколка. Без визуализации выявить данную ошибку в алгоритмах расчётов было бы крайне сложно.

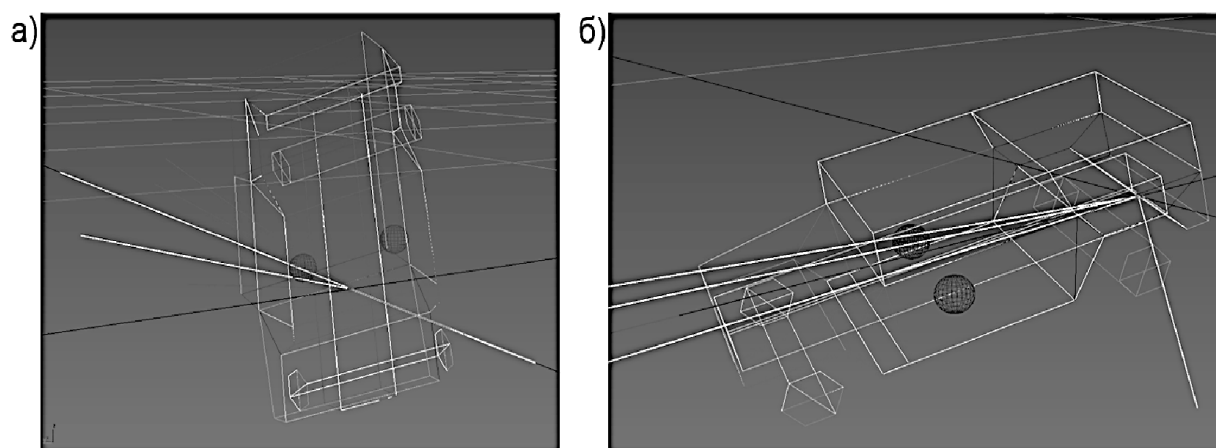


Рис. 2. Визуализация вторичного осколочного потока

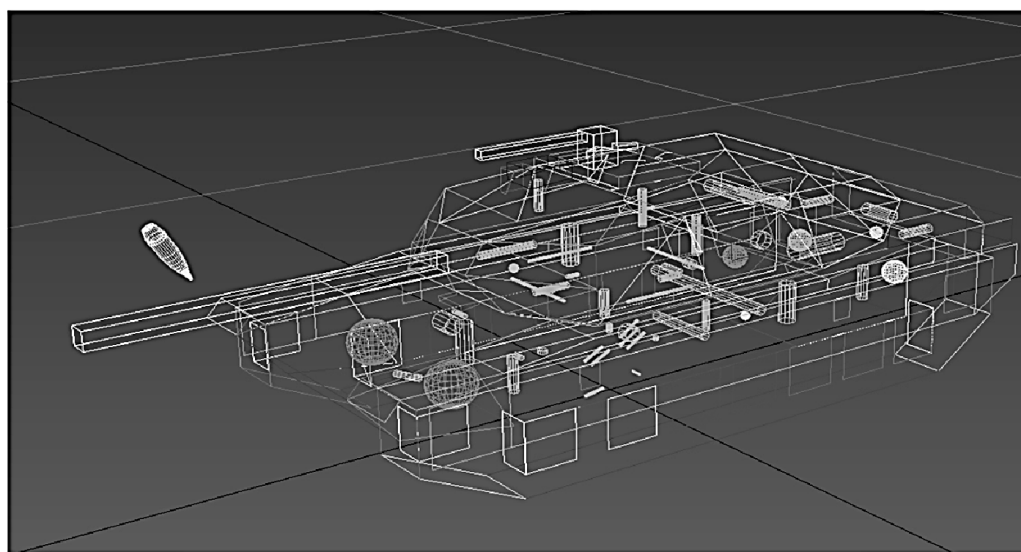


Рис. 3. Визуализация системы исходных данных внешнего бронирования и внутренних уязвимых элементов современного танка

Заключение:

1. Для проверки адекватности расчётной модели формирования первичного и запреградного осколочных полей при оценке эффективности действия компактных осколков по тонкой броне недостаточно сравнения конечных числовых результатов с данными реальных экспериментов. Причиной является значительная неопределённость в промежуточных преобразованиях и большое количество внутренних уязвимых элементов в реальных бронированных целях (см. рис. 3), поражение отдельных из которых может привести к правдоподобным конечным результатам даже при грубых ошибках в перестройке координат. По этой причине актуальность приобретает компьютерная визуализация как правильности ввода исходных данных, так и результатов работы

промежуточных алгоритмов имитационной модели.

2. Разработанный модуль трёхмерного отображения данных предоставляет пользователю (разработчику) удобный доступ к трем системам координат промежуточных преобразований для визуального контроля правильности формирования первичного и вторичного осколочных потоков при отладке программного обеспечения функционирования осколочных боеприпасов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Запорожец В.И.* Боевая эффективность средств поражения и боеприпасов: тексты лекций. СПб.: Изд-во Балт. гос. техн. ун-та, 2006. 159 с.

2. *Кузнецов С.А., Никулин Е.Н., Пантелеев А.И., Филимон С.В.* Программно-

методический комплекс оценки эффективности применения артиллерийских снарядов // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XVII Всерос. науч.-практ. конф. РАРАН (1-4 апреля 2014 г.). Т. 3. Издание ФГБУ «Российской академии ракетных и артиллерийских наук». М., 2014. С. 80–88.

3. Кузнецов С.А., Никулин Е.Н., Пантелеев А.И., Филимон С.В. Подход к обоснованию облика кассетных артиллерийских снарядов с боевыми элементами

основного назначения // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XVII Всерос. науч.-практ. конф. РАРАН (1-4 апреля 2015 г.). Т. 3. Издание ФГБУ «Российской академии ракетных и артиллерийских наук». М., 2015. С. 89–97.

4. Никулин Е.Н. Оценка эффективности действия бронебойных подкалиберных и осколочных снарядов на базе вычислительного эксперимента. СПб.: Изд-во Балт. гос. техн. ун-та, 2010. 148 с.