

ОТЗЫВ

Официального оппонента, доктора технических наук, доцента Хмельникова Е.А. на диссертацию Суфиянова Вадима Гарайхановича на тему «Решение задачи комплексного моделирования артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий для проектирования и отработки артиллерийских систем», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике) и 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертация Суфиянова В.Г. посвящена комплексному математическому моделированию основных процессов, протекающих во время артиллерийского выстрела, и созданию программного обеспечения, которое может быть использовано при оценочном проектировании артиллерийских систем. При разработке новых артиллерийских установок, систем стрелково-пушечного вооружения и средств высокоскоростного метания требует проведения значительного объема дорогостоящих экспериментальных исследований и опытных работ. Уменьшить затраты на проведение данных исследований позволяет использование физико-математической модели процесса выстрела, учитывающей последовательность и природу явлений, протекающих в стволе, на траектории и при взаимодействии с объектом поражения.

Разработка подхода к проектированию артиллерийских систем, связанного с внедрением эффективных вычислительных алгоритмов в соединении с возможностями современных ЭВМ позволяет приблизить методы численного исследования к натурным экспериментам. Таким образом, создание программного обеспечения для адекватного комплексного моделирования и визуализации всех этапов артиллерийского выстрела является важной задачей, решение которой позволит значительно снизить объем натурных экспериментов на полигоне.

С учетом вышесказанного, считаю, что тема диссертационной работы Суфиянова В.Г. «Решение задачи комплексного моделирования артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий для проектирования и отработки артиллерийских систем» является актуальной и важной для решения научно-технических проблем баллистического проектирования.

Оценка содержания работы

Предложенная автором технология моделирование быстропротекающих процессов артиллерийского выстрела основано на следующих положениях:

- ✓ совместное рассмотрение процесса артиллерийского выстрела для анализа эффективности действия боеприпаса;
- ✓ использование адекватного математического аппарата при моделировании всех стадий артиллерийского выстрела;
- ✓ применение современных информационных технологий отображения результатов моделирования процессов, протекающих во время артиллерийского выстрела.

Авторское представление о решении задачи комплексного моделирования процесса артиллерийского выстрела для проектирования и отработки артиллерийских систем изложено в научно-квалификационной работе, которая состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 185 наименований и 4 приложений. Общий объем работы 315 страниц, включая 179 рисунков и 32 таблицы.

Во **введении** обоснована важность и актуальность поставленной цели и задач диссертационного исследования, определены объект и предмет исследования, представлена научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, достоверность и обоснованность полученных в диссертации результатов. Дана общая характеристика содержания диссертации.

В **первой главе** проведен иерархический структурно-функциональный анализ основных элементов системы полигонных испытаний, результаты которого использовались при разработке программно-вычислительного комплекса визуализации физических объектов и процессов, протекающих при отработке артиллерийских систем. Рассмотрены основные этапы процесса моделирования и визуализации при отработке артиллерийских систем на полигоне.

Во **второй главе** содержится описание и визуальное представление виртуальных моделей объектов моделирования, включая карту полигона, артиллерийские комплексы и измерительно-регистрирующую аппаратуру.

Автором представлено описание систем координат и их преобразований для представления виртуальных моделей в программном комплексе.

В **третьей главе** последовательно рассматриваются все основные этапы физико-математического моделирования процесса артиллерийского выстрела и численные методы, использованные при реализации каждого из этапов.

Моделирование внутрибаллистических процессов основано на газодинамическом подходе с учетом нестационарного, эрозионного горения пороховых элементов. В диссертационной работе предложен адаптивный алгоритм решения уравнения теплопроводности и горения. Представлена математическая модель напряженно-деформированного состояния ствола артиллерийского орудия с динамическими граничными условиями, полученными в результате решения задачи внутренней баллистики.

Автором предложена математическая модель внешнебаллистических процессов, в которой аэродинамические и моментные характеристики оцениваются на основе решения задачи обтекания снаряда.

В диссертационной работе рассмотрены две задачи конечной баллистики, а именно, проникания ударника в прочные преграды и осколочного действия.

В **четвертой главе** автор описывает программный комплекс, разработанный в рамках выполнения диссертационной работы, в котором реализованы расчетные блоки для моделирования всех этапов артиллерийского выстрела и блок визуализации результатов моделирования.

Пятая глава посвящена результатам комплексного моделирования процесса артиллерийского выстрела.

Проведено исследование возможности построения аппроксимирующих математических моделей по результатам численных экспериментов.

Представленные автором результаты моделирования динамического нагружения ствола гладкоствольного орудия показали их соответствие данным из литературных источников по отношению к областям максимального изнашивания ствола.

Представлены результаты математического моделирования внешней баллистики для трех различных снарядов. Результаты сравнения параметров обтекания $C_x(M)$ для оперенного снаряда показали их соответствие данным полученным по экспериментальным данным для эталонных моделей.

Важным результатом проведенного исследования является разработанная методика оптимизации конструкции снаряда на основе комплексного моделирования процесса артиллерийского выстрела, в которой «орудие» – «заряд» – «снаряд» – «мишень».

Представлены результаты моделирования разлета осколков и оценки оптимальной высота подрыва снаряда.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Следует отметить достаточно высокую степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации Суфиянова В.Г. Теоретические положения диссертационного исследования основываются на использовании методов системного анализа и математического моделирования; вычислительной гидродинамики и механики сплошных сред; теории упругости, пластичности и разрушения; решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных; статистического имитационного моделирования, а также применением современных апробированных вычислительных технологий для получения численных результатов.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в диссертационной работе, подтверждается опытом практической реализации программного комплекса математического моделирования и визуализации различных этапов процесса артиллерийского выстрела, научными трудами и апробациями результатов работы на представительных научных форумах, а также сравнительным анализом с известными результатами современных исследований и разработок.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Сформулированные в диссертационном исследовании Суфиянова В.Г. научные положения, выводы и рекомендации обладают необходимым уровнем достоверности и новизны.

Научные положения, выводы и рекомендации основаны на современных методах теории системного и комплексного анализа сложных быстропротекающих процессов, математического моделирования и применении новых визуальных информационных технологий.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждена опубликованием автором 38 научных работ, из них 17 статья, входящих в перечень ВАК РФ рецензируемых научных изданий, в том числе 4 статья, входящих в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus и Web of Science.

Практическая значимость и полезность научных и прикладных результатов диссертационного исследования подтверждается актами внедрения.

Замечания по диссертационной работе.

1. Ряд терминов применяемых автором вызывает непонимание и недоумение, например:

-«Терминальная баллистика»(например 268 стр. и ряд других) -такого направления или раздела в баллистике нет. Есть в английской транскрипции «Terminal ballistics»,(Terminal от латинского слова Termina – конечная истина – истина в последней инстанции) что на русский язык переводится как « Конечная баллистика» Название направления науки « Конечная баллистика» было закреплено в 80-е годы XX века окончательно выходом книги «Конечная баллистика. Основы теории удара» под редакцией Ю.В. Хайдина 1989 г. ЦНИИХМ.

-Рассматривая модели конструкций боеприпасов, автор обнаружил у бронебойных оперенных подкалиберных снарядов (БОПС) ведущие пояски. К сожалению должен констатировать, что подобные боеприпасы не имеют ведущих поясков, есть только обтюрирующие. Их принципиальная разница в функциях, которые они выполняют.

- Появился еще один термин «бронированная живая сила», при это дается ссылка на источник [20]. Такого термина в этом источнике нет. Есть термин общепринятый и понятный « живая сила в бронезилетах»(см. стр.103).

2. О основных моделях рассматриваемых в работе:

- на стр.62 рис. 2.14 представлена модель несуществующего БОПС. На активную часть накручен четырехперый стабилизатор (такие были применены только на одной конструкции и то оказались неудачными) и ведущая часть без крепления присоединена к активной части (просто надета). Как такую конструкцию рассчитывать на прочность в стволе или внешнюю баллистику на полете непонятно, однако расчеты проведены и представлены в табл.2.3;

- на стр. 74 представлены модели зарядов. Таких моделей просто не существует.

-в конструкциях трубки пороха подрезаны под конфигурацию гильзы, или гильза заполнена порохом полностью, так что дно запрессованного в гильзу снаряда прижимает заряд. В результате предполагаемый выстрел должен происходить в условиях, когда плотность заряжения равна гравиметрической плотности пороха.

В результате возникает необходимость объяснить получаемые результаты, поскольку сравнить их не с чем.

3. При расчете напряженно-деформированного состояния ствола в качестве модели пластичности применена модель Джонсона-Кука. При этом рассматривается выстрел 125 мм снарядом (российский калибр), а характеристики в уравнениях используются для американских сталей, которые даже при примерном совпадении состава и статических характеристик в динамике ведут себя по-разному с российскими сталями.
4. В параграфе 5.1.3. представлено сравнение натурального и вычислительного эксперимента. Возникает вопрос, где был расположен ЭРД, и какое давление из расчета показано на графике. Давление в каждом сечении камеры орудия будет разным.
5. При расчете максимальной скорости осколков применена известная методика, в чем новизна?
6. На стр.207-208 поскольку численное решение сопряженной задачи движения газов и заряда сопряжено с большими временными затратами сделать ряд допущений. Предлагаемые допущения приводят к известной задаче внутренней баллистики приведенной в учебнике Серебрякова.

При моделировании процессов конечной баллистики рассматривается конструкция БОПС, у которой меняется вес более чем в 2 раза. При этом

рассчитывается внешняя баллистика. В результате расчетов у снаряда изменяются также в 2 раза моменты инерции, а соответственно и силы сопротивления воздушного потока, действующие на перья стабилизатора, который кстати изготовлен из алюминия. Возникает два вопроса:

- размеры плоскостей пера не увеличились, как обеспечивается устойчивость БОПСа на полете и как обеспечивается необходимая угловая скорость снаряду;
- как выдерживают нагрузку алюминиевые перья, если прочность у стальных перьев ЗБМ47 на пределе. Такой стабилизатор должен рассыпаться в воздухе.

8. При оценке осколочного поля стр.247 проводится сравнение полей полученных при расчете в динамике и испытаниях в статике. Это далеко не одно и то же.

9. Расчеты по оценке бронепробития надо обсуждать отдельно. То что показано на рис. 5.34 вызывает большое сомнение. Или материал преграды и снаряда подобран не соответствующий. В действительности при пробитии брони подобным типом снарядов откольных явлений не наблюдается, происходит только выбивание пробки.

10. Анализируя список литературы, можно отметить, что автор в основном использовал свои публикации с рядом соавторов, их 48 ед. из 184. В остальном списке –классические учебники (что касается баллистики). При этом Международный баллистический комитет проводя раз 1,5 года конгрессы, издает двухтомник объемом в 1100-1200 стр., где автор мог найти для себя много интересного, в том числе по предлагаемым задачам.

Заключение

Диссертационная работа Суфиянова В.Г. «Решение задачи комплексного моделирования артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий для проектирования и отработки артиллерийских систем» является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором.

Работа аккуратно оформлена. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Текст автореферата полностью соответствует основному содержанию диссертации. Содержание автореферата и диссертации соответствует заявленным специальностям 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

(в науке и технике) и 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

На основании вышеизложенного, считаю, что диссертационная работа отвечает критериям п. II «Положения о присуждении ученых степеней» (в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), а ее автор, Суфиянов В.Г., заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике) и 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Заведующий кафедрой «Специальное машиностроение»

Нижнетагильского технологического института

(филиал) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный

университет имени первого Президента

России Б.Н. Ельцина»,

Член-корреспондент РАН,

доктор технических наук

Е.А. Хмельников

Адрес, включая адрес электронной почты:

Нижнетагильский технологический институт (филиал)

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

622013, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59

тел. (3435) 42-09-18 e-mail: khmelnikov7@gmail.com

Подпись Е.А. Хмельникова удостоверяю

Председатель Ученого Совета

НТИ (филиал) УрФУ



В.В. Потанин