**Название проекта**

**«Повышение дальности и точности стрельбы из артиллерийского вооружения на основе активно-реактивного принципа метания и импульсной коррекции траектории»**

**Ключевые идеи:**

1. Исследование применения активно-реактивного принципа метания для повышения дальности стрельбы из артиллерийского вооружения
2. Математическое моделирование процессов внутренней и внешней баллистики активно-реактивного снаряда (АРС)
3. Комплексная оптимизация внутри- и внешнебаллистичесих параметров АРС с целью повышения дальности стрельбы
4. Исследование устойчивости движения АРС на траектории, механизмы повышения устойчивости
5. Исследование применения импульсного принципа коррекции траектории с целью повышения точности стрельбы
6. Движение метаемых снарядов при возникновении асимметрии формы и перераспределения массы внутри снаряда в полете,
7. Неподвижные и подвижные точечные, линейные и площадные цели,
8. Повышение эффективности поражения цели за счет формирования поля поражения,
9. Учет рельефа местности в районе цели,
10. Повышение эффективности поражения цели за счет подрыва боеприпаса на оптимальной высоте над объектом поражения.
11. Интеллектуальные системы наведения и корректировки полета снаряда на цель,

**Основной код классификатора:**

**01 Математика, информатика и науки о системах**

**Выбраны новые**

**Основной** 01-220 Математическое моделирование технических систем

**2 дополнительных**

01-218 Математическое моделирование физических явлений

01-714 Встроенные интеллектуальные системы

|  |
| --- |
| 01-100 Математика |
| 01-101 Математическая логика и основания математики |
| 01-102 Алгебра |
| 01-103 Теория чисел |
| 01-104 Геометрия |
| 01-105 Топология |
| 01-106 Алгебраическая геометрия |
| 01-107 Группы Ли и теория представлений |
| 01-108 Комплексный анализ |
| 01-109 Вещественный и функциональный анализ |
| 01-110 Теория вероятностей и математическая статистика |
| 01-111 Дифференциальные уравнения с частными производными |
| 01-112 Обыкновенные дифференциальные уравнения и теория динамических систем |
| 01-113 Математическая физика |
| 01-114 Дискретная математика и математическая кибернетика |
| 01-200 Информатика |
| 01-201 Искусственный интеллект и принятие решений |
| 01-202 Интеллектуальный анализ данных и распознавание образов |
| 01-203 Теория оптимизации и исследование операций |
| 01-204 Математические проблемы теории управления |
| 01-205 Математические модели в науках о живом |
| 01-206 Вычислительная математика |
| 01-207 Программные модели и системы |
| 01-208 Нейроинформатика |
| 01-209 Теория игр |
| 01-210 Проблемно-ориентированные алгоритмы |
| 01-211 Математическое моделирование социальных и экономических процессов |
| 01-212 Квантовые методы обработки информации |
| 01-213 Обработка и анализ изображений и сигналов |
| 01-214 Параллельные алгоритмы |
| 01-215 Анализ и моделирование компьютерных процессов |
| 01-216 Математические модели и методы защиты, преобразования и передачи информации |
| 01-217 Математическое моделирование физических сред |
| 01-218 Математическое моделирование физических явлений |
| 01-219 Математическое моделирование в науках о Земле и проблемах окружающей среды |
| 01-220 Математическое моделирование технических систем |
| 01-300 Механика |
| 01-301 Теория упругости, сопряженные модели |
| 01-302 Контактное взаимодействие |
| 01-303 Пластичность, воздействие физических полей и химически активных сред |
| 01-304 Реология и вязкость |
| 01-305 Разрушение деформируемых тел, кинетика и динамика |
| 01-306 Механика гетерогенных и функциональных материалов, многомасштабность структуры и текстуры |
| 01-307 Динамика идеальной жидкости |
| 01-308 Динамика вязкой жидкости |
| 01-309 Турбулентность и гидродинамическая устойчивость |
| 01-310 Газовая динамика |
| 01-311 Гидромеханика многофазных сред |
| 01-312 Физико-химическая гидродинамика |
| 01-313 Биомеханика |
| 01-314 Теоретическая механика |
| 01-315 Теория колебаний и устойчивость движения |
| 01-316 Методы математического моделирования, оценивания и управления механическими и биомеханическими системами |
| 01-317 Регулярная и хаотическая динамика механических систем |
| 01-318 Движение тел в космическом пространстве, жидких и газовых средах |
| 01-319 Механика машин и роботов |
| 01-400 Сетевые технологии |
| 01-401 Системы цифровой передачи данных и вычислительные сети |
| 01-402 Технологии прикладных распределенных разработок |
| 01-403 Распределенные вычисления и GRID-технологии. Сверхмасштабируемые программные комплексы и алгоритмы. Испытание и оценка надежности. |
| 01-404 Облачные вычисления |
| 01-405 Математическое обеспечение для грид-технологий и облачных вычислений |
| 01-406 Технология защиты ресурсов распределенных информационно-вычислительных систем |
| 01-407 Математическое обеспечение безопасности вычислительных и инфокоммуникационных технологий |
| 01-408 Методология стандартизации информационных, вычислительных и коммуникационных ресурсов |
| 01-409 Правовые и экономические аспекты создания и использования информационных ресурсов |
| 01-410 Высокопроизводительные компьютерные системы и распределенная обработка данных |
| 01-411 Системное программирование высокопроизводительных компьютерных систем |
| 01-412 Суперкомпьютерное моделирование: инструментальные средства, прикладное программное обеспечение и сервисы |
| 01-413 Визуализация и обработка сверхбольших массивов данных |
| 01-414 Программное обеспечение для вычислительных и инфокоммуникационных систем и сетей |
| 01-415 Параллельное программирование: модели, языки, технологии |
| 01-416 Инструментарий параллельного моделирования |
| 01-417 Архитектура и топология вычислительных и инфокоммуникационных систем и сетей |
| 01-418 Оптимизация мультиархитектурных иерархических систем и параллельное мультипрограммирование |
| 01-419 Безопасность, структурная надежность и живучесть вычислительных и инфокоммуникационных систем и сетей |
| 01-420 Контроль и диагностика вычислительных и инфокоммуникационных систем и сетей |
| 01-500 Инфокоммуникационные технологии и вычислительные системы |
| 01-501 Теоретические основы Е-технологий и программных комплексов |
| 01-502 Теоретические основы электронных социальных систем, сетей и услуг |
| 01-503 Теоретические основы электронных образовательных систем, сетей и услуг |
| 01-504 Теоретические основы электронной поддержки рынка медицинских услуг |
| 01-505 Системы компьютерной поддержки научных исследований |
| 01-506 Компьютеризированное научное приборостроение |
| 01-507 Автоматические и автоматизированные системы проектирования, моделирования и сопровождения |
| 01-508 Системный анализ |
| 01-509 Извлечение знаний, базы данных и базы знаний |
| 01-510 Системы семантического моделирования |
| 01-511 Системы визуализации и виртуального окружения |
| 01-512 Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений |
| 01-513 Технологии и системы основанные на знаниях |
| 01-514 Технологии приобретения, представления, обработки и интеграции знаний |
| 01-515 Технологии управления знаниями |
| 01-516 Проблемно-ориентированные системы, основанные на знаниях |
| 01-517 Средства создания и поддержки проблемно-ориентированных систем, основанных на знаниях, и экспертных систем |
| 01-518 Системы текстового поиска, обработки и анализа естественного языка |
| 01-519 Интеллектуальные динамические системы и технологии управления |
| 01-520 Интеллектуальные технологии для робототехнических и мехатронных систем |
| 01-521 Интеллектуальные Интернет-технологии |
| 01-600 Теория управления |
| 01-601 Теория управления |
| 01-700 Алгоритмическое и программное обеспечение |
| 01-701 Проблемно-ориентированные системы |
| 01-702 Системы и технологии создания и поддержки проблемно-ориентированных систем |
| 01-703 Фундаментальные проблемы наполнения электронных библиотек и коллекций |
| 01-704 Средства создания и поддержки электронных библиотек и электронных изданий |
| 01-705 Сервисно-ориентированные системы |
| 01-706 Мобильные системы и сенсорные сети |
| 01-707 Фундаментальные проблемы организации электронного документооборота |
| 01-708 Геоинформационные системы |
| 01-709 Мультимедийные информационные системы |
| 01-710 Проблемно-ориентированные базы данных |
| 01-711 Системы семантического моделирования |
| 01-712 Принципы построения электронных социальных систем, сетей и оказания услуг |
| 01-713 Правовые и методологические вопросы, связанные с использованием Интернет |
| 01-714 Встроенные интеллектуальные системы |
| 01-715 Системы текстового поиска |
| 01-716 Системы и технологии математического моделирования для естественных наук |
| 01-717 Алгоритмическое и программное обеспечение для электроэнергетики |
| 01-718 Алгоритмическое и программное обеспечение для атомной промышленности |
| 01-719 Алгоритмическое и программное обеспечение для космоса |
| 01-720 Алгоритмическое и программное обеспечение для здравоохранения и биологии |
| 01-721 Системы и технологии математического моделирования социальных и экономических процессов |
| 01-722 Алгоритмическое и программное обеспечение для бизнес-приложений, анализа социальных и экономических процессов |
| 01-723 Специализированные программные модели и системы |
| 01-724 Инфокоммуникационные и вычислительные технологии для оптики, фотоники и лазерных технологий |
| 01-725 Инфокоммуникационные и вычислительные технологии для online распознавания изображений |
| 01-726 Системы и технологии интеллектуального анализа данных и распознавания образов |

Дополнительные коды классификатора: (2 шт)

Код ГРНТИ [(ссылка)](http://www.extech.ru/info/catalogs/grnti/) <http://www.extech.ru/info/catalogs/grnti/>

Выбраны новые

|  |  |
| --- | --- |
| 28.17.19 | Математическое моделирование |
| 27.41.00 | Вычислительная математика |
| 78.21.47 | Баллистика. Теория стрельбы |
|  |  |
|  |  |
| 27.35.14 | Математические модели аэро- и гидромеханики |
| 27.35.00 | Математические модели естественных наук и технических наук. Уравнения математической физики |
| 27.35.17 | Математические модели газовой динамики |
| 27.35.21 | Математические модели гидродинамики |
| 27.35.31 | Математические модели упругости и пластичности |
| 30.51.23 | Горение и детонация |
| 30.17.00 | Механика жидкости и газа |
| 30.19.00 | Механика деформируемого твердого тела |
| 50.07.05 | Теория вычислительных систем высокой производительности |
| 78.21.47 | Баллистика. Теория стрельбы |
| |  |  | | --- | --- | | 78.25.31 |  | | Системы и средства военной навигации, наведения и управления |
| 27.41.00 | Вычислительная математика |
| 27.47.23 | Математические проблемы искусственного интеллекта |
| 28.17.19 | Математическое моделирование |
| 28.17.23 | Моделирование физических процессов |
| 28.17.33 | Компьютерное моделирование реальности. Виртуальная реальность |
| 28.19.23 | Адаптивные и обучающие системы |
| 28.23.00 | Искусственный интеллект |
| 28.23.29 | Программная реализация интеллектуальных систем |
| 28.23.39 | Интеллектуальные базы знаний |
|  |  |
|  |  |

Фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя проекта:  
**Королев Станислав Анатольевич**

Контактные телефон и e-mail руководителя проекта: **+79068192790,**

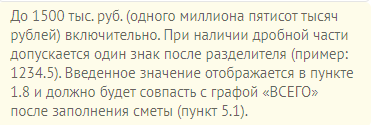
Полное и сокращенное наименование организации, через которую должно осуществляться финансирование проекта:

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова"**

**[ФГБОУ ВО "ИжГТУ имени М.Т. Калашникова"](javascript:;)**

Объем финансирования проекта в 2023 г.

\_\_1500\_\_\_\_\_\_\_тыс. руб.



Форма 1. Сведения о проекте

* 1. **Название проекта**

на русском языке

**Повышение дальности и точности стрельбы из артиллерийского вооружения на основе активно-реактивного принципа метания и импульсной коррекции траектории**

на английском языке

Increasing the range and accuracy of firing from artillery weapons based on the active-reactive principle of throwing and impulse correction of the trajectory.

* 1. **Приоритетное направление развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, критическая технология**

**выберите приоритетное направление: (выделить)**

|  |
| --- |
| 1. Безопасность и противодействие терроризму. |
| 2. Индустрия наносистем. |
| 3. Информационно-телекоммуникационные системы. |
| 4. Науки о жизни. |
| 5. Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники. |
| 6. Рациональное природопользование. |
| 7. Транспортные и космические системы. |
| 8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика. |

**выберите критическую технологию: (выделить)**

|  |
| --- |
| 1. Базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники. |
| 10. Технологии биоинженерии. |
| 11. Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств. |
| 12. Технологии доступа к широкополосным мультимедийным услугам. |
| 13. Технологии информационных, управляющих, навигационных систем. |
| 14. Технологии наноустройств и микросистемной техники. |
| 15. Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику. |
| 16. Технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов. |
| 17. Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов. |
| 18. Технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем. |
| 19. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения. |
| 2. Базовые технологии силовой электротехники. |
| 20. Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи. |
| 21. Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. |
| 22. Технологии снижения потерь от социально значимых заболеваний. |
| 23. Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта. |
| 24. Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения. |
| 25. Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств. |
| 26. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии. |
| 27. Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе. |
| 3. Биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии. |
| 4. Биомедицинские и ветеринарные технологии. |
| 5. Геномные, протеомные и постгеномные технологии. |
| 6. Клеточные технологии. |
| 7. Компьютерное моделирование наноматериалов, наноустройств и нанотехнологий. |
| 8. Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии. |
| 9. Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. |

**Направление из Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации  
Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».**

выберите направление из Стратегии: **(выделить)**

  [Н1 Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта](javascript:menu;)

 [Н2 Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии](javascript:menu;)

 [Н3 Переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных)](javascript:menu;)

 [Н4 Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания](javascript:menu;)

 [Н5 Противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства](javascript:menu;)

 [Н6 Связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики](javascript:menu;)

 [Н7 Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук](javascript:menu;)

* 1. **Ключевые слова** *(приводится не более 15 терминов) на русском языке*

введите ключевые слова на русском языке:

*математическая модель, компьютерное моделирование, программное обеспечение, внутренняя баллистика, внешняя баллистика, устойчивость снаряда, дальность и точность артиллерийского выстрела, технологии виртуальной реальности, интеллектуальные системы наведения, эффективность поражения, оптимизация, активно-реактивный принцип метания, импульсная коррекция.*

*(указываются отдельные слова и словосочетания, наиболее полно отражающие содержание проекта: не более 15, строчными буквами, через запятые)*

*на английском языке*

*mathematical model, computer simulation, software, internal ballistics, external ballistics, final ballistics, projectile stability, range and accuracy of an artillery shot, virtual reality technologies, intelligent guidance systems, destruction efficiency, optimization, active-reactive throwing principle.*

* 1. **Аннотация проекта** *(объемом не более 2 стр.; в том числе кратко –* **актуальность решения указанной выше научной проблемы и научная новизна***)*  
     Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет». *на русском языке*

|  |
| --- |
| *Цель.*  *Решение фундаментальной проблемы существенного повышения дальности, точности артиллерийского выстрела и эффективности поражения различных объектов.*  *Актуальность.*  *В связи с постоянно растущими требованиями к повышению эффективности ствольной артиллерии возникает необходимость проведения исследований, связанных с комплексным изучением всех стадий артиллерийского выстрела и разработкой систем наведения снаряда на цель. Под более высокой эффективностью стрельбы будем понимать увеличение дальности полета снаряда, возможность поражения цели с первого выстрела и формирование поля поражения под характер цели. В этой связи предлагается новый подход, использующий комплексную математическую постановку задач внутренней, внешней и конечной баллистики, учитывающую взаимосвязь и взаимозависимость последовательно и параллельно протекающих физических процессов артиллерийского выстрела в сочетании с интеллектуальной системой корректировки траектории и наведения снаряда на цель.*  *В работе рассматриваются осколочно-фугасные и активно-реактивные снаряды.*  *В ходе выполнения проекта будут получены следующие новые результаты:*  *1. Комплексная математическая модель решения задач внутренней и внешней баллистики активно-реактивного снаряда и управления движением с помощью импульсной коррекции траектории.*  *2. Численные методы и алгоритмы решения пространственной нестационарной задачи внешней баллистики активно-реактивного снаряда, учитывающих аэродинамику обтекания и устойчивость движения на траектории при импульсной коррекции траектории.*  *3. Алгоритмы оптимизации баллистических условий, весовых характеристик и аэродинамической формы активно-реактивного снаряда, для решения задачи увеличения дальности стрельбы.*  *4. Алгоритмы управления движением активно-реактивного снаряда с помощью импульсной коррекции траектории для повышения точности стрельбы.*  *8. Программно-вычислительный комплекс, реализующий численное решение баллистических задач и пространственную визуализацию процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел. Программно-вычислительный комплекс, реализующий интеллектуальную автономную систему корректировки траектории движения снарядов при наведении на цель.*  *10. Впервые проводятся исследования*:   * *возможности увеличения скорости снарядов за счет активно-реактивного принципа метания;* * *возможности корректировки траектории движения снарядов за счет реактивного импульса;* * *возможности увеличения дальности стрельбы за счет оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик, аэродинамической формы и повышения устойчивости снарядов;* * *эффективности автономной системы корректировки траектории движения снарядов при наведении на цель.* |

*не более 3500 знаков без учета пробела*

на английском языке

|  |
| --- |
|  |

* 1. **Ожидаемые результаты и их значимость** **(указываются результаты, их научная и общественная значимость (соответствие предполагаемых результатов мировому уровню исследований, возможность практического использования ожидаемых результатов проекта в экономике и социальной сфере))** **, в том числе для создания новой или усовершенствования производимой продукции (товаров, работ, услуг), создания новых или усовершенствования применяемых технологий))** **(указываются результаты, их значимость для развития новой научной тематики)**  
     Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».*на русском языке*

|  |
| --- |
| *Ожидаемые результаты:*  *1. Комплексная математическая моделей нестационарных физических процессов артиллерийского выстрела, позволяющий с единых позиций подойти к решению взаимосвязанных задач внутренней, внешней, конечной баллистики и управления движением снаряда на траектории. Данный подход является новым, как с точки зрения комплексности решаемых задач, так и с точки зрения учета в математических моделях новых явлений, сопровождающих процесс артиллерийского выстрела (неравномерного горения, напряженно-деформированного и теплового состояния ствола, колебаний, конструкции заряда, аэродинамики, устойчивости, управления полем поражения и движением снарядов при наведении на цель).*  *2. Программное обеспечение решения взаимосвязанных задач внутренней, внешней и конечной баллистики, а также задачи построения интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения снаряда при наведении на цель и трехмерной визуализации процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел.*  *Запланированные результаты проекта превосходят мировой уровень исследований в данной области.*  *Научная и общественная значимость:*  *1. Повышение размерности моделирования внутрибаллистического процесса позволяет решать задачи структурно-параметрического проектирования оптимальной конструкции комбинированного артиллерийского заряда с произвольным расположением пороховых элементов.*  *2. Совместное решение задач внутренней баллистики, напряженно-деформированного состояния снарядов и ствола артиллерийского орудия в процессе выстрела позволяет определять влияние волновых процессов в стволе на динамику движения снарядов; учитывать влияние колебаний и прогиба ствола на внешнебаллистическую траекторию движения снарядов различных типов.*  *3. Предлагаемый комплексный подход существенно расширяет круг решаемых баллистических задач: позволяет оптимизировать конструкцию заряда, рассчитывать индивидуально для каждого типа снаряда аэродинамические силы и моменты, действующие на снаряд, проводить более точный анализ и определять критерии устойчивости движения снарядов на траектории, проводить оптимизацию баллистических условий стрельбы, весовых характеристик, аэродинамической формы снарядов и реактивной составляющей тяги на этапе проектирования, исследовать устойчивость движения метаемых тел под действием возмущений внешней среды, исследовать влияние возникновения асимметрии формы и перераспределения массы внутри снарядов в полете на траекторию их движения с целью повышения дальности и точности стрельбы, а также возможности формирования поля поражения, адаптированного под характер цели за счет различной ориентации снарядов при подходе к цели, с учетом рельефа местности и высоты подрыва.*  *4. Выполнение проекта способствует повышению компетенций профессорско-преподавательского состава и научных работников, повышению качества обучения студентов и освоению современных технологий математического моделирования и визуальных технологий виртуальной реальности в Ижевском государственном техническом университете имени М.Т. Калашникова.* |

введите ожидаемые результаты на русском языке:

|  |
| --- |
|  |

**1.6. В состав научного коллектива будут входить (указывается планируемое количество исполнителей в течение всего срока реализации проекта):**

Несоответствие состава научного коллектива (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 12 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

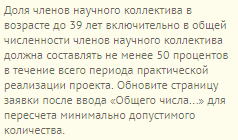
введите число

 исполнителей проекта (включая руководителя),

В соответствии с требованиями пункта 12 конкурсной документации от 2 до 4 человек. Вне зависимости от того, в трудовых или гражданско-правовых отношениях исполнители состоят с организацией.  
в том числе

введите число

 исполнителей в возрасте до 39 лет включительно,

  
из них:

введите число

 аспирантов (адъюнктов) очной формы обучения.

введите число

 студентов очной формы обучения.   
  
**1.7. Планируемый состав научного коллектива с указанием фамилий, имен, отчеств (при наличии) членов коллектива, их возраста на момент подачи заявки, ученых степеней, должностей и основных мест работы, формы отношений с организацией (трудовой договор, гражданско-правовой договор) в период реализации проекта**

|  |
| --- |
| 1. Королев Станислав Анатольевич, 44 года, д.т.н., профессор кафедры «Прикладная математика и информационные технологии» ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», трудовой договор.  2. Нефедов Денис Геннадьевич, 35 лет, к.т.н., доцент кафедры «Прикладная математика и информационные технологии» ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», трудовой договор.  3. Мансуров Рустам Ренатович, 24 года, магистрант направления 01.04.04 – «Прикладная математика» ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», трудовой договор.  4. Федоров Анатолий Иванович, 27 лет, магистрант направления 01.04.04 – «Прикладная математика» ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», трудовой договор. |

**Соответствие профессионального уровня членов научного коллектива задачам проекта**

|  |
| --- |
| **1. Королев Станислав Анатольевич** окончил факультет прикладной математики ИжГТУ имени М.Т. Калашникова в 2001 году. В 2020 г. защитил докторскую диссертацию по теме: “Развитие подходов к решению проблем аэродинамики и устойчивости движения снарядов и неуправляемых ракет на основе математического моделирования” по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.  В настоящее время работает в ИжГТУ имени М.Т. Калашникова профессором кафедры “Прикладная математика и информационные технологии”. Ведет курсы: “Механика сплошных сред”, “Базы данных” для бакалавров по направлению 01.03.04 “Прикладная математика”; “Прикладное программное обеспечение в механике сплошных сред” для магистрантов по направлению магистратуры 01.04.04 “Прикладная математика”.  В 2018 году прошел курс обучения работе с программным комплексом ЛОГОC с использованием Суперкомпьютерных технологий в РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров, Нижегородская обл.).  За последние 5 лет: выполнено 5 научных проектов (в качестве основного исполнителя), опубликованы 52 научные работы, в т.ч. в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus – 8, Web of Science – 5, RSCI – 6.  Научные интересы.  Математическое моделирование процессов промежуточной и внешней баллистики артиллерийского выстрела. Численное моделирование аэродинамики обтекания тел, турбулентность и гидродинамическая устойчивость. Исследование устойчивости движения тел в различных средах. Разработка интеллектуальных алгоритмов решения обратных баллистических задач.  **2. Нефедов Денис Геннадьевич** окончил факультет прикладной математики ИжГТУ имени М.Т. Калашникова в 2010 году. В 2015 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, посвященную разработке и реализации математических моделей и методов решения задач оптимизации распределенных производственных структур, по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.  В настоящее время работает в ИжГТУ имени М.Т. Калашникова доцентом кафедры “Прикладная математика и информационные технологии”. Ведет курсы: “Объектно-ориентированное программирование”, “Компьютерная графика”, “Программные и аппаратные средства информатики”, “Проектирование программного обеспечения” для бакалавров по направлению 01.03.04 “Прикладная математика”; “Параллельное и распределенное программирование”, “Системы 3D моделирования и визуальные технологии” для магистрантов по направлению магистратуры 01.04.04 “Прикладная математика”.  В 2018 году прошел курс обучения работе с программным комплексом ЛОГОС с использованием Суперкомпьютерных технологий в РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров, Нижегородская обл.).  За последние 5 лет: выполнено 5 научных проектов (в качестве основного исполнителя), опубликовано 27 научных работ, в т.ч. в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus – 5, Web of Science – 0, RSCI – 1.  Научные интересы.  Суперкомпьютерные вычисления, параллельные алгоритмы и математическое моделирование физических процессов. Математическое программное обеспечение суперкомпьютерного моделирования. Математическое моделирование процессов внешней баллистики (кинематика, динамика и устойчивость движения твердых тел). Программная реализация интеллектуальных систем.  **3. Мансуров Рустам Ренатович** окончил факультет Математики и естественных наук ИжГТУ имени М.Т. Калашникова (бакалавриат по направлению 01.03.04 “Прикладная математика”).  В настоящее время обучается на 2 курсе магистратуры по направлению 01.04.04 “Прикладная математика”. После окончания магистратуры планирует поступить в аспирантуру по выбранному направлению.  Имеет 3 публикации. Работает над магистерской диссертацией по теме: “Исследование способов повышения дальности стрельбы за счет внешнебаллистических факторов” (научный руководитель профессор Королев С.А.).  Научные интересы.  Математическое моделирование процессов внутренней и внешней баллистики активно-реактивного способа метания. Постановка и решение оптимизационных задач с целью повышения дальности стрельбы. Исследование вопросов устойчивости движения активно-реактивного снаряда на траектории.  **4. Федоров Анатолий Иванович** окончил факультет Математики и естественных наук ИжГТУ имени М.Т. Калашникова (бакалавриат по направлению 01.03.04 “Прикладная математика”).  В настоящее время обучается на 1 курсе магистратуры по направлению 01.04.04 “Прикладная математика”.  Работает над магистерской диссертацией по теме: “Разработка интеллектуальной системы наведения и корректировки траектории движения метаемых тел” (научный руководитель профессор Королев С.А.).  Научные интересы.  Инструментальные средства, визуальные технологии и прикладное программное обеспечение решения проектных баллистических задач. Интеллектуальные экспертные системы и нейросетевые технологии.  **Выполненные проекты членами научного коллектива**  1) Государственное задание №1.1481.2014/К (Минобрнауки РФ), тема «Численное моделирование пространственных нестационарных турбулентных течений гетерогенных реагирующих сред, нестационарного турбулентного обтекания тел сложной формы при больших числах Маха и механики процессов соударения и разрушения при взаимодействии метаемого тела с преградой применительно к процессу артиллерийского выстрела», номер государственной регистрации 114072170012, 2014 – 2016 гг. (рук. Липанов А.М., отв. исп. Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Тененев В.А., Нефедов Д.Г.).  2) ФКП «НИИ «Геодезия», СЧ ОКР 256.4087.Н-43Б.К15, тема «Разработка элементов информационно-аналитической подсистемы ПАК РАВПН, в том числе программного обеспечения расчета параметров обтекания воздушными потоками боеприпасов и летательных аппаратов, визуализации процессов функционирования боеприпасов» (шифр «Ориентация»), 2015 – 2017 гг. (рук. Липанов А.М., отв. исп. Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Тененев В.А., Нефедов Д.Г.).  3) АО «НЦВ Миль и Камов», НИР, тема «Теоретические и прикладные исследования повышения точности применения неуправляемых авиационных средств поражения за счёт учета в прицельных системах возмущающего действия струи несущего винта вертолёта» (шифр «Вихрь»), 2020 г. (рук. Липанов А.М., Русяк И.Г., отв. исп. Королев С.А., Суфиянов В.Г., Тененев В.А., Нефедов Д.Г.).  4) РФФИ, № 20-01-00072, тема «Разработка математических моделей и численных методов решения пространственных сопряженных нестационарных задач газовой динамики и механики многофазных реагирующих деформируемых гетерогенных сред в условиях выстрела», 2020-2022 г. (рук. Русяк И.Г., отв. исп. Тененев В.А., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Нефедов Д.Г., Клюкин Д.А., Мансуров Р.Р.).  5) АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», НИР, тема «Математическое моделирование поведения специально подготовленных образцов с покрытиями в имитационных испытаниях. Расчетно-теоретическое обоснование выбора геометрии и условий испытаний», 2021 г. (рук. Липанов А.М., Русяк И.Г., отв. исп. Королев С.А., исп. Тененев В.А., Суфиянов В.Г., Нефедов Д.Г., Клюкин Д.А.).  6) ФКП «НИО «ГБИП России», СЧ НИР, тема «Разработка программного обеспечения «Виртуальное приборное поле» (шифр «Метрология»), 2021-2022 г. (рук. Липанов А.М., Русяк И.Г., отв. исп. Суфиянов В.Г., исп. Тененев В.А., Королев С.А., Нефедов Д.Г., Клюкин Д.А.).  7) ООО «НПО «Дельта», НИР, тема «Разработка математического, алгоритмического и программного обеспечения системы наведения и корректировки стрельбы самонаводящейся метаемой установки в составе интеллектуальной системы управления стрельбой», 2022 г. (рук. Русяк И.Г., исп. Королев С.А., Нефедов Д.Г.).  **Основные публикации членов научного коллектива по теме проекта за последние 5 лет:**   1. Липанов А.М., Русяк И.Г., Тененев В.А., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Белобородов М.Н. Численное моделирование артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий для проектирования и отработки артиллерийских систем: монография. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2023. – 416 с. (РИНЦ). 2. Королев С.А. Развитие подходов к решению проблем аэродинамики и устойчивости движения снарядов и неуправляемых ракет на основе математического моделирования: дисс. … докт. техн. наук: 05.13.18. – КНИТУ-КАИ, Казань, 2020 – 282 с. (РИНЦ). 3. Липанов А.М., Русяк И.Г., Королев С.А., Карсканов С.А. Численное решение задачи обтекания для определения аэродинамических коэффициентов метаемых тел. Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92. № 2. С. 496-504. (**RSCI**).   Перевод: Lipanov A.M., Rusyak I.G., Korolev S.A., Karskanov S.A. Numerical Solution of the Problem of Flow Past Projected Bodies for Determining Their Aerodynamic Coefficients. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2019. Vol. 92. No. 2. P. 477-485. (Web of Science, Q4; Scopus, SJR 2019 0.39, **Q1**).   1. Rusyak I. G., Tenenev V. A., Korolev S. A. Numerical Simulation of the Nonstationary Process of the Shot Based on the Navier – Stokes Equations. Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2022. Vol. 18. No. 1. P. 333-348. (Scopus, SJR 2022 0.26, **Q3**; **RSCI**; SCImago; ZbMATH; Mathematical Reviews; Google Scholar; EBSCOhost, INSPEC). 2. [Rusyak I.G.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6507300717&amp;eid=2-s2.0-85065745757), [Tenenev V.A.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506350837&amp;eid=2-s2.0-85065745757), [Korolev S.A.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56829055200&amp;eid=2-s2.0-85065745757) Numerical research of resistance of environment to accelerated motion of bodies with various forms in channel of constant section. AIP Conference Proceedings. 2021. Vol. 2351. P. 030004. (Web of Science; Scopus, SJR 2021 0.19). 3. Lipanov A.M., Korolev S.A., Rusyak I.G. Refinement of aerodynamic characteristics of the rocket moving in the jet of reactive engine. AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2288. P. 020006. (Web of Science; Scopus, SJR 2020 0.18). 4. [Korolev S.A.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56829055200&amp;eid=2-s2.0-85065745757), [Lipanov A.M.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006843432&amp;eid=2-s2.0-85065745757), [Tenenev V.A.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506350837&amp;eid=2-s2.0-85065745757), [Rusyak I.G.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6507300717&amp;eid=2-s2.0-85065745757) Simulation of the spatial motion of projectile in the presence of mass and shape asymmetry. AIP Conference Proceedings. 2019. Vol. 2103. P. 020007. (Web of Science; Scopus, SJR 2019 0.19). 5. Korolev S. A., Lipanov A.M., Rusyak I.G., Tenenev V.A. Development of the Approaches for Solving an Inverse Problem of External Ballistics in Various Application Conditions. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Matematika i Mekhanika. 2019. No. 57. P. 76-83. (Web of Science; Scopus, SJR 2019 0.29, **Q3**; **RSCI**; MathSciNet; ZbMATH; Ulrichs Periodicals Directory; ERIH PLUS; ROAD). 6. Тененев В.А., Королев С.А., Белобородов М.Н., Клюкин Д.А. Методика моделирования распространения ударных волн на приборном поле. В сборнике: XXVI Всероссийский семинар с международным участием по струйным, отрывным и нестационарным течениям. Материалы докладов. Сер. "Библиотека журнала "Военмех. Вестник БГТУ". Санкт-Петербург, 2022. С. 179-180. (РИНЦ). 7. Королев С.А., Липанов А.М., Русяк И.Г. Управление кучностью стрельбы ракетно-артиллерийского вооружения с подвижного носителя. В сборнике: Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и ствольных системах (ICOC'2020). Сборник трудов Десятой Всероссийской конференции. 2020. С. 142‑150. (РИНЦ). 8. Липанов А.М., Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А. Программный комплекс решения задач проектирования и отработки стрелково-пушечного вооружения. В сборнике: Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и ствольных системах (ICOC'2020). Сборник трудов Десятой Всероссийской конференции. 2020. С. 175‑188. (РИНЦ). 9. Липанов А.М., Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А. Разработка специализированного вычислительного модуля для решения комплекса задач проектирования и отработки стрелково-пушечного вооружения. Супервычисления и математическое моделирование. Труды XVII Международной конференции / Под ред. Р.М. Шагалиева. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2019. С. 337-360. (РИНЦ). 10. Королев С.А., Суфиянов В.Г. Решение задач внешнебаллистического проектирования на основе математического и компьютерного моделирования. Интеллектуальные системы в производстве. 2019. Т. 17. № 3. С. 80-88. (Scholar Google; Ulrichs Periodical Directory; Crossref; РИНЦ). 11. Королев С.А. Методика имитационного моделирования рассеивания снарядов. Интеллектуальные системы в производстве. 2019. Т. 17. № 1. С. 57-62. (Scholar Google; Ulrichs Periodical Directory; Crossref; РИНЦ). 12. Королев С.А., Максимова О.С. Математическая модель механической системы “Вертолет-вооружение”. В сборнике: Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения. Сборник научных статей II Всероссийской научной конференции с международным участием. В 2 частях. 2019. С. 227-233. (РИНЦ). 13. Королев С.А. Исследование влияния реактивной струи на отклонение очереди ракет при стрельбе с подвижного носителя. Интеллектуальные системы в производстве. 2019. Т. 17. № 3. С. 75-79. (Scholar Google; Ulrichs Periodical Directory; Crossref; РИНЦ). 14. Липанов А.М., Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А. Программный комплекс моделирования стрельбы с подвижного носителя. Известия Российской Академии Ракетных и Артиллерийских Наук. 2019. № 108. С. 111-119. (РИНЦ). 15. Королев С.А., Липанов А.М., Русяк И.Г. Исследование путей повышения дальности стрельбы ствольной артиллерии. Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. 2018. Т. 21. № 3. С. 185-191. (Scholar Google; Ulrichs Periodical Directory; Crossref; РИНЦ). 16. Королев С.А., Русяк И.Г., Тененев В.А., Вагин А.В., Белобородов М.Н. Исследование влияния динамических характеристик подвижного носителя на кучность стрельбы. Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16. № 3. С. 103-109. (Scholar Google; Ulrichs Periodical Directory; Crossref; РИНЦ). 17. Липанов А.М., Русяк И.Г., Тененев В.А., Суфиянов В.Г., Королев С.А. Результаты численного моделирования внутренней и внешней баллистики артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий. В сборнике: Теория управления и математическое моделирование. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти профессора Н. В. Азбелева и профессора Е. Л. Тонкова. Ижевск, 2022. С. 319-322. (РИНЦ). 18. Тененев В.А., Королев С.А., Клюкин Д.А., Хрячков В.А. Особенности формирования фронта ударной волны в трубе при срабатывании быстродействующего клапана. В сборнике: Проектирование систем вооружения боеприпасов и измерительных комплексов. Труды 18-й Всероссийской научно-технической конференции. Нижний Тагил, 2022. С. 351-362. (РИНЦ). 19. Мансуров Р.Р. Оптимизация внутри- и внешнебаллистических параметров активно-реактивного снаряда с целью повышения дальности стрельбы. В сборнике: Теория управления и математическое моделирование. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти профессора Н. В. Азбелева и профессора Е. Л. Тонкова. Ижевск, 2022. С. 329-332. (РИНЦ). 20. Королев С.А., Мансуров Р.Р. Исследование дальности стрельбы активно-реактивным снарядом. В сборнике: I Липановские научные чтения. Материалы региональной научной конференции. Ижевск, 2021. С. 71-77. (РИНЦ). 21. Мансуров Р.Р., Королев С.А. Разработка методики баллистического расчета и оптимизации параметров активно-реактивного снаряда. В сборнике: Выставка инноваций - 2022 (весенняя сессия). Сборник материалов XXXIII Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов. Ижевск, 2022. С. 229-237. (РИНЦ). 22. Королев С.А., Микрюков Д.В. Разработка и реализация алгоритма решения обратной задачи внешней баллистики при стрельбе с подвижного носителя. В сборнике: I Липановские научные чтения. Материалы региональной научной конференции. Ижевск, 2021. С. 78-83. (РИНЦ). 23. Липанов А.М., Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А. Результаты, состояние и перспективы исследований в области стрелково-пушечного вооружения. В сборнике: I Липановские научные чтения. Материалы региональной научной конференции. Ижевск, 2021. С. 13-28. (РИНЦ). 24. Королев С.А., Романенко К.А. Построение моделей аэродинамического сопротивления метаемых тел на основе нейронных сетей. В сборнике: Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и ствольных системах (ICOC'2020). Сборник трудов Десятой Всероссийской конференции. 2020. С. 151-156. (РИНЦ). 25. Королев С.А., Липанов А.М., Русяк И.Г. Учет возмущающего действия воздушного потока несущего винта вертолета в алгоритмах управления стрельбой. В сборнике: X Всероссийская научная конференция с международным участием «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики -2020». Материалы конференции. под редакцией М.Ю. Орлова. Томск, 2021. С. 175-178. (РИНЦ). 26. Суфиянов В.Г., Русяк И.Г., Королев С.А., Новиков А.В. Имитационное моделирование процесса засыпки зерненого пороха. В сборнике: Проектирование систем вооружения боеприпасов и измерительных комплексов. Труды 17-й Всероссийской научно-технической конференции. Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». Нижнетагильский технологический институт (филиал), 2021. С. 288-295. (РИНЦ). 27. Русяк И.Г., Липанов А.М., Суфиянов В.Г., Королев С.А. Проектирование и отработка стрелково-пушечного вооружения на основе комплексного моделирования артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий. В сборнике: Проектирование систем вооружения боеприпасов и измерительных комплексов. Труды 17-й Всероссийской научно-технической конференции. Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». Нижнетагильский технологический институт (филиал), 2021. С. 221-234. (РИНЦ). 28. Королев С.А., Суфиянов В.Г., Русяк И.Г., Липанов А.М. Разработка математического и программного обеспечения для решения задач внешнебаллистического проектирования. В сборнике: Проектирование систем вооружения боеприпасов и измерительных комплексов. Труды 17-й Всероссийской научно-технической конференции. Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». Нижнетагильский технологический институт (филиал), 2021. С. 173-183. (РИНЦ). 29. Королев С.А., Русяк И.Г., Вагин А.В., Белобородов М.Н. Управление кучностью стрельбы ракетно-артиллерийского вооружения с подвижного носителя. В сборнике: Проектирование систем вооружения боеприпасов и измерительных комплексов. Труды 17-й Всероссийской научно-технической конференции. Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». Нижнетагильский технологический институт (филиал), 2021. С. 160-172. (РИНЦ). 30. Королев С.А., Липанов А.М., Русяк И.Г. Исследование повышения точности применения неуправляемых авиационных средств поражения за счет учета в прицельных системах возмущающего действия струи несущего винта вертолета. В сборнике: Проектирование систем вооружения боеприпасов и измерительных комплексов. Труды 17-й Всероссийской научно-технической конференции. Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». Нижнетагильский технологический институт (филиал), 2021. С. 149-159. (РИНЦ). 31. Программа для решения задачи Лагранжа с учетом противодавления. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662838 от 20.10.2020 г. Авторы Русяк И.Г., Дряхлов Р.Р., Нефедов Д.Г. (РИНЦ). 32. Программа для решения баллистической задачи Лагранжа в осесимметричной постановке. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020666207 от 04.12.2020 г. Авторы Тененев В.А., Русяк И.Г., Нефедов Д.Г. (РИНЦ). 33. Программа для численного расчета внутренней баллистики для трубчатого заряда в пространственной осесимметричной постановке. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611840 от 02.02.2022 г. Авторы Тененев В.А., Русяк И.Г., Нефедов Д.Г., Клюкин Д.А. (РИНЦ). 34. Программа для расчета продольно-поперечных колебаний ствола артиллерийского орудия. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661754 от 31.05.2021 г. Авторы Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Клюкин Д.А., Нефедов Д.Г. (РИНЦ). 35. Программа для расчета теплового и напряженно-деформированного состояния ствола при выстреле. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661192 от 16.06.2022 г. Авторы Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Нефедов Д.Г., Клюкин Д.А. (РИНЦ). 36. Программа для численного расчета параметров распространения волн давления в ударной трубе в осесимметричной постановке. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662682 от 03.08.2021 г. Авторы Тененев В.А., Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Клюкин Д.А., Нефедов Д.Г. (РИНЦ). 37. Программа [расчета углов наведения и корректировки стрельбы на основе интеллектуального анализа данных о положении цели и отклонений снарядов от цели](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50428954). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023615914 от 20.03.2023 г. Авторы Королев С.А., Нефедов Д.Г., Русяк И.Г. (РИНЦ).   **Всего статей Q1 – 1; Q2 – 0; Q3 – 2; RSCI – 3.**  **Апробация работ членов научного коллектива (список конференций с 1 января 2018 года)**   1. XV, XVI, XVII, XVIII, XIX Всероссийская научно-техническая конференция «Проектирование систем вооружения и измерительных комплексов» (Нижний Тагил, 2018-2022 гг.). 2. VI, VII, VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Фундаментальные основы баллистического проектирования – 2018, 2020, 2022» (Санкт-Петербург, 2018, 2021, 2022 гг.). 3. XVII Международная конференция «Супервычисления и математическое моделирование» (Саров, 2018 г.). 4. X Всероссийская конференция «Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и ствольных системах» ICOC (Ижевск 2020 г.). 5. XXVII, XXVIII Всероссийская конференция с международным участием «Высокоэнергетические процессы в механике сплошной среды» (HEPCM 2020, 2021) (Новосибирск, 2020, 2021 гг.). 6. XX Международная конференция по методам аэрофизических исследований (ICMAR 2020) (Новосибирск, 2020 г.). 7. Выставка инноваций 2020, 2021, 2022. Весенняя сессия (Ижевск, 2020, 2021, 2022 гг.). 8. Выставка инноваций 2021. Осенняя сессия (Ижевск, 2021 г.). 9. XXII Харитоновские тематические научные чтения «Суперкомпьютерное моделирование и искусственный интеллект» (Саров, 2021 г.). 10. Региональная научная конференция «Липановские чтения» (Ижевск, 2021 г.). 11. XXVI Всероссийский семинар с международным участием по струйным, отрывным и нестационарным течениям (Санкт-Петербург, 2022 г.) 12. Всероссийская конференция с международным участием «Теория управления и математическое моделирование», посвященная памяти профессора Н. В. Азбелева и профессора Е. Л. Тонкова (Ижевск, 2022 г.). 13. IX Всероссийская научно-практическая конференция «Калашниковские чтения» (Ижевск, 2022 г.). |

**1.8. Планируемый объем финансирования Фондом проекта по годам (указывается в тыс. рублей):**

Несоответствие планируемого объема финансирования проекта (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 10 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

2024 г. - тыс. рублей,



тыс. рублей,

2025 г. -



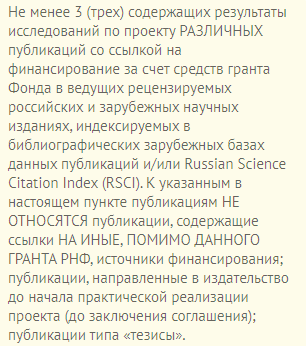
тыс. рублей,



**1.9. Научный коллектив по результатам выполнения проекта в ходе его реализации предполагает опубликовать\*\* в ведущих рецензируемых\*\*\* российских и зарубежных научных изданиях\*\*\*\* не менее**

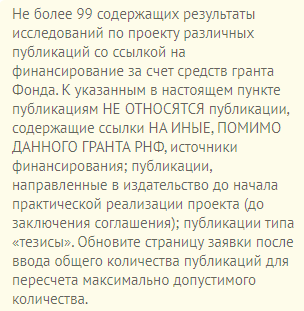
\*\***Приводятся данные за весь период выполнения проекта. Уменьшение количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) по сравнению с порогом, установленным в пункте 16.2 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.**  
\*\*\***Издания, индексируемые в библиографических зарубежных базах данных публикаций и/или Russian Science Citation Index (RSCI).**  
\*\*\*\***Фонд вправе устанавливать (изменять) перечень международных баз данных, в которых индексируются научные издания, и/или научных изданий, публикации в которых будут учитываться с повышающим коэффициентом.  
В случаях принятия органами власти Российской Федерации или органами управления Фондом соответствующего решения Фонд вправе не менее чем за 8 месяцев до наступления отчетного периода в одностороннем порядке установить или изменить перечень международных баз данных, в которых индексируются научные издания, и/или научных изданий путем направления победителям конкурса соответствующего письменного уведомления.**

4 введите число:



 публикаций,  
из них

|  |
| --- |
| 2 |

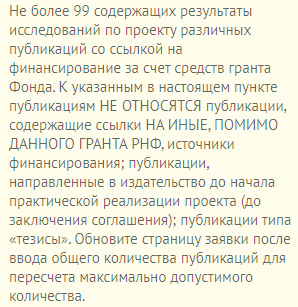


 в изданиях, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus);

|  |
| --- |
| 2 |

 в изданиях, индексируемых в Russian Science Citation Index;

|  |
| --- |
| 2 |



 в изданиях, индексируемых в иных зарубежных библиографических базах данных.

Не менее 3 (трех) содержащих результаты исследований по проекту различных публикаций со ссылкой на финансирование за счет средств гранта Фонда в ведущих рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях, индексируемых в библиографических зарубежных базах данных публикаций и/или Russian Science Citation Index (RSCI). НЕ БУДУТ УЧИТЫВАТЬСЯ публикации, содержащие ссылки НА ИНЫЕ, ПОМИМО ДАННОГО ГРАНТА РНФ, источники финансирования; публикации, направленные в издательство до начала практической реализации проекта (до заключения соглашения); публикации типа «тезисы»

**Информация о научных изданиях, в которых предполагается опубликовать результаты проекта, в том числе следует указать в каких базах индексируются данные издания - «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus)», RSCI, РИНЦ, иные базы, а также указать тип публикации - статья, обзор, тезисы, монография, иной тип**

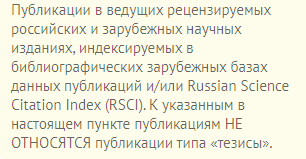
|  |
| --- |
| 1. Статьи в научных журналах, 2024-2025 гг.:  **Инженерно-физический журнал** (RSCI, РИНЦ, ВИНИТИ) (переводная версия «Journal of Engineering Physics and Thermophysics» (Web of Science, Scopus)),  **Вестник Томского государственного университета. Серия «Математика и механика»** (Web of Science, Scopus, ERIH PLUS, Ulrichs Periodicals Directory, MathSciNet, ZbMATH, ROAD, RSCI, РИНЦ),  **Компьютерные исследования и моделирование** (Scopus, DOAJ, RSCI, РИНЦ,),  **Химическая физика и мезоскопия** (Chemical Abstract, RSCI, РИНЦ, ВИНИТИ),  **Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова** (Scholar Google, Ulrichs Periodical Directory, Crossref, РИНЦ),  **Интеллектуальные системы в производстве** (Scholar Google, Ulrichs Periodical Directory, Crossref, РИНЦ),  **Russian Journal of Nonlinear Dynamics** (Scopus, SCImago, ZbMATH, Mathematical Reviews, Google Scholar, EBSCOhost, INSPEC, RSCI, РИНЦ).  2. Сборники материалов докладов конференций, 2024-2025 гг.:  Санкт-Петербург, Томск, Нижний Тагил, Ижевск (РИНЦ).  3. Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ (3 свидетельства), 2024-2025 гг.  4. Магистерская диссертация, 2024 г. |

**Иные способы обнародования результатов выполнения проекта**

|  |
| --- |
| нет |

**1.10. Число публикаций членов научного коллектива, опубликованных в период с 1 января 2018 года до даты подачи заявки,**

введите число:



, из них

введите число:

 – опубликованы в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или в Scopus,

введите число:

 – опубликованы в изданиях, индексируемых Russian Science Citation Index,

введите число:

 – опубликованы в изданиях, индексируемых в иных зарубежных библиографических базах данных.

**1.11. Планируемое участие научного коллектива в международных коллаборациях (проектах) (при наличии).**

|  |
| --- |
| нет |

введите информацию о планируемом участии в международных коллаборациях:

**1.12. Информация о возможности использовании результатов выполнения проекта в осуществлении хозяйственной деятельности предприятий Российской Федерации, в том числе о способе использования, о намерениях по внедрению на основании прогнозируемых результатов проекта новой или усовершенствованию производимой продукции (товаров, работ, услуг), новых или усовершенствованных применяемых технологий; о формировании по итогам реализации проекта научных и технологических заделов, обеспечивающих экономический рост и социальное развитие Российской Федерации (с приложением подтверждающих документов, при наличии)**

|  |
| --- |
| Возможно внедрение результатов работы в практику полигонных испытаний современных образцов артиллерийских боеприпасов на Федеральном казенном предприятии «Национальное испытательное объединение «Государственные боеприпасные испытательные полигоны России» (ФКП «НИО «ГБИП России»), г. Красноармейск, МО |

Файл

---

Форма 2. Сведения о руководителе и основных исполнителях проекта  
собираются автоматически (частично) на основе анкетных данных руководителя и исполнителей, подтвердивших свое участие. [Список исполнителей формируется в "Форме Т"](https://grant.rscf.ru/site/user/forms?rid=000000000000000004439-1_#memberslist)

**2.5 Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии), участие в оргкомитетах или программных комитетах известных международных конференций, иной опыт организации международных мероприятий**

|  |
| --- |
| 1. Заслуженный деятель науки Удмуртской Республики, Почетный работник высшего профессионального образования России, памятная медаль имени генерала В.Г. Грабина “За заслуги в создании вооружения и военной техники”, медаль ордена “За заслуги перед Отечеством II Степени”, памятная медаль имени Главного маршала артиллерии Н.Н. Воронова “За заслуги в создании вооружения и военной техники”, Лауреат премии имени М.Т. Калашникова, Лауреат Государственной премии Удмуртской Республики  2. Академик РАРАН. |

2.7 **Область научных интересов – ключевые слова***(приводится не более 15 ключевых слов)*

|  |
| --- |
| технические системы, гидромеханика, вычислительная математика, внутренняя баллистика ракетно-артиллерийских систем, внешняя баллистика летательных аппаратов, сопряженные физические процессы, математическое моделирование, вычислительный алгоритм, компьютерное моделирование, программное обеспечение, автоматизация проектирования |

2.8 **Область научных интересов – коды по классификатору Фонда**

|  |
| --- |
| 01 МАТЕМАТИКА, ИНФОРМАТИКА И НАУКИ О СИСТЕМАХ  01-206 Вычислительная математика  01-218 Математическое моделирование физических явлений  01-220 Математическое моделирование технических систем  01-308 Динамика вязкой жидкости  01-310 Газовая динамика  01-507 Автоматические и автоматизированные системы проектирования, моделирования и сопровождения  09 ИНЖЕНЕРНЫЕ НАУКИ  09-104 Движение объектов и аппаратов в различных средах  09-105 Газо- и гидродинамика технических и природных систем  09-207 Термодинамические процессы в технических системах  09-602 Моделирование технических систем |

Перечень публикаций руководителя проекта (с указанием при наличии базы данных, в которой индексируется издание, например, RSCI, Web of Science Core Collection, Scopus, и т.п.), опубликованных в период с 1 января 2018 года до даты подачи заявки, подтверждающий выполнение условия пункта 9 конкурсной документации  
Для лиц, находившихся в указанный в настоящем пункте период в отпусках по беременности и родам, отпусках по уходу за ребенком, а также отпусках работникам, усыновившим ребенка, допускается наличие соответствующих публикаций также в период, предшествующий 1 января 2018 года, и равный продолжительности таких отпусков. Соответствующая информация указывается справочно в настоящем пункте.  
Достаточно привести ссылки на публикации в количестве, равном установленному в конкурсной документации порогу. Несоответствие количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы), приводимое в перечне и/или численно в строке ниже, требованиям пункта 9 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу в соответствии с подпунктом «г» пункта 20 конкурсной документации.  
*на английском языке*

|  |
| --- |
| 1. Липанов А.М., Русяк И.Г., Королев С.А., Карсканов С.А. Численное решение задачи обтекания для определения аэродинамических коэффициентов метаемых тел. Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92. № 2. С. 496-504.   Перевод: Lipanov A.M., Rusyak I.G., Korolev S.A., Karskanov S.A. Numerical Solution of the Problem of Flow Past Projected Bodies for Determining Their Aerodynamic Coefficients. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2019. Vol. 92. No. 2. P. 477-485. (Web of Science, Q4; Scopus, SJR 2019 0.39, **Q1**; **RSCI**). https://doi.org/10.1007/s10891-019-01954-2, DOI: 10.1007/s10891-019-01954-2.   1. Rusyak I. G., Tenenev V. A., Korolev S. A. Numerical Simulation of the Nonstationary Process of the Shot Based on the Navier – Stokes Equations. Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2022. Vol. 18. No. 1. P. 333-348. (Scopus, SJR 2022 0.26, **Q3**; **RSCI**; SCImago; ZbMATH; Mathematical Reviews; Google Scholar; EBSCOhost, INSPEC). https://doi.org/10.20537/nd220301, DOI: 10.20537/nd220301. 2. [Rusyak I.G.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6507300717&amp;eid=2-s2.0-85065745757), [Tenenev V.A.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506350837&amp;eid=2-s2.0-85065745757), [Korolev S.A.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56829055200&amp;eid=2-s2.0-85065745757) Numerical research of resistance of environment to accelerated motion of bodies with various forms in channel of constant section. AIP Conference Proceedings. 2021. Vol. 2351. P. 030004. (Web of Science; Scopus, SJR 2021 0.19). https://doi.org/10.1063/5.0051760, DOI: 10.1063/5.0051760. 3. Lipanov A.M., Rusyak I.G., Sufiyanov V.G., Korolev S.A. Mathematical modeling of shooting from moving carrier. Advances in Military Technology. 2020. Vol. 15. No. 2. P. 265-278. (Scopus, SJR 2020 0.14, **Q4**). https://doi.org/10.3849/aimt.01377, DOI: 10.20537/2076-7633-2020-12-5-1123-1147. 4. Lipanov A.M., Korolev S.A., Rusyak I.G. Refinement of aerodynamic characteristics of the rocket moving in the jet of reactive engine. AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2288. P. 020006. (Web of Science; Scopus, SJR 2020 0.18). https://doi.org/10.1063/5.0028348, DOI: 10.1063/5.0028348. 5. Korolev S.A., Lipanov A.M., Tenenev V.A., Rusyak I.G. Simulation of the spatial motion of projectile in the presence of mass and shape asymmetry. AIP Conference Proceedings. 2019. Vol. 2103. P. 020007. (Web of Science; Scopus, SJR 2019 0.19). https://doi.org/10.1063/1.5099871, DOI: 10.1063/1.5099871. 6. Королев С.А., Липанов А.М., Русяк И.Г., Тененев В.А. Разработка подходов к решению обратной задачи внешней баллистики в различных условиях применения. Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2019. № 57. С. 76-83.   Перевод: Korolev S. A., Lipanov A.M., Rusyak I.G., Tenenev V.A. Development of the Approaches for Solving an Inverse Problem of External Ballistics in Various Application Conditions. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Matematika i Mekhanika. 2019. No. 57. P. 76-83. (Web of Science; Scopus, SJR 2019 0.29, **Q3**; **RSCI**; MathSciNet, ZbMATH; Ulrichs Periodicals Directory; ERIH PLUS; ROAD). https://doi.org/10.17223/19988621/57/6, DOI: 10.17223/19988621/57/6.   1. Королев С.А. Методика имитационного моделирования рассеивания снарядов. [Интеллектуальные системы в производстве](https://izdat.istu.ru/index.php/ISM/index). 2019. Т. 17. № 1. С. 57-62.   Перевод: Korolev S.A. Simulation method of projectiles dispersion. Intelligent Systems in Manufacturing. 2019. Vol. 17. No. 1. P. 57-62. (Scholar Google; Ulrichs Periodical Directory; Crossref). <https://doi.org/>10.22213/2410-9304-2019-1-57-62, DOI: 10.22213/2410-9304-2019-1-57-62.   1. Королев С.А. Исследование влияния реактивной струи на отклонение очереди ракет при стрельбе с подвижного носителя. [Интеллектуальные системы в производстве](https://izdat.istu.ru/index.php/ISM/index). 2019. Т. 17. № 3. С. 75-79.   Перевод: Korolev S.A. Research of influence of reactive jet on dispersion of rocket turns when shooting from a moving carrier. Intelligent Systems in Manufacturing. 2019. Vol. 17. No. 3. P. 75-79. (Scholar Google; Ulrichs Periodical Directory; Crossref). <https://doi.org/>10.22213/2410-9304-2019-3-75-79, DOI: 10.22213/2410-9304-2019-3-75-79.   1. Королев С.А., Суфиянов В.Г. Решение задач внешнебаллистического проектирования на основе математического и компьютерного моделирования. [Интеллектуальные системы в производстве](https://izdat.istu.ru/index.php/ISM/index). 2019. Т. 17. № 3. С. 80-88.   Перевод: Korolev S.A., Sufiyanov V.G. Solution of problems of external ballistic design on the basis of mathematical and computer modeling. Intelligent Systems in Manufacturing. 2019. Vol. 17. No. 3. P. 80-88. (Scholar Google; Ulrichs Periodical Directory; Crossref). <https://doi.org/>10.22213/2410-9304-2019-3-80-88, DOI: 10.22213/2410-9304-2019-3-80-88.   1. Королев С.А., Липанов А.М., Русяк И.Г. Исследование путей повышения дальности стрельбы ствольной артиллерии. [Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова](https://izdat.istu.ru/index.php/vestnik/index). 2018. Т. 21. № 3. С. 185-191.   Перевод: Korolev S.A., Lipanov A.M., Rusyak I.G. Investigation of the Ways of Increasing the Shooting Range of the Barrel Artillery. Bulletin of Kalashnikov ISTU. 2018. Vol. 21. No. 3. P. 185-191. (Scholar Google; Ulrichs Periodical Directory; Crossref). <https://doi.org/10.22213/2413-1172-2018-3-185-191>, DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-185-191.   1. Королев С.А., Русяк И.Г., Тененев В.А., Вагин А.В., Белобородов М.Н. Исследование влияния динамических характеристик подвижного носителя на кучность стрельбы. [Интеллектуальные системы в производстве](https://izdat.istu.ru/index.php/ISM/index). 2018. Т. 16. № 3. С. 103-109.   Перевод: Korolev S.A., Rusyak I.G., Tenenev V.A., Vagin A.V., Beloborodov M.N. Investigating the Influence of Dynamic Characteristics of a Moving Carrier on the Accuracy of Shooting. Intelligent Systems in Manufacturing. 2018. Vol. 16. No. 3. P. 103-109. (Scholar Google; Ulrichs Periodical Directory; Crossref). <https://doi.org/>10.22213/2410-9304-2018-3-103-109, DOI: 10.22213/2410-9304-2018-3-103-109. |

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский язык. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе *(например, добавляйте слово «перевод»)*.  
  
**Перечень содержит**

введите число:

**публикаций в изданиях, индексируемых в Russian Science Citation Index.**  
  
**Перечень содержит**

введите число:

**публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection, Scopus.**  
  
**Перечень содержит**

введите число:

**публикаций в изданиях, входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR *(принадлежность издания к Q1 в Scopus определяется по базе данных http://www.scimagojr.com/)*.**  
  
**Перечень содержит**

введите число:

**публикаций в изданиях, индексируемых в иных зарубежных библиографических базах данных.**  
  
Основные научные результаты руководителя проекта за период с 1 января 2018 года *(результаты должны подтверждаться сведениями из заявки, например - публикациями)*

*на русском языке*

|  |
| --- |
| 1. Создана математическая модель гидродинамики пространственного обтекания метаемого тела сложной формы. Реализован подход численного решения уравнений Навье-Стокса осредненных по Фавру (FANS) и модели турбулентности k–ε.  2. Создана математическая модель внешней баллистики с учетом устойчивости движения метаемого тела по траектории и использованием коэффициентов аэродинамических сил и моментов, рассчитанных на основе аппроксимации результатов численного моделирования обтекания метаемого тела.  3. Построены алгоритмы решения обратной задачи внешней баллистики на основе итерационного подхода и с использованием аппроксиматоров различных типов: линейный, многослойная нейронная сеть, радиальная сеть, метод нечетких деревьев решений.  4. Проведено исследование аэродинамической формы снаряда с целью повышения дальности стрельбы.  5. Проведено исследование устойчивости движения снаряда при наличии асимметрии формы и массы. |

2.11 **Общее число публикаций в ведущих рецензируемых\*\*\*\*\* российских и зарубежных научных изданиях за период с 1 января 2018 года,**

|  |
| --- |
| **16** |

из них:

6 - опубликовано в изданиях, индексируемых Russian Science Citation Index;

8 - опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или Scopus,

1 в изданиях, входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR;

11 - опубликовано в изданиях, индексируемых в иных зарубежных библиографических базах данных.

Дополнительный список из 5 наиболее значимых публикаций руководителя проекта *(монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях (в т.ч. публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования Russian Science Citation Index, Web of Science Core Collection, Scopus). Приводится не более 5 публикаций, при наличии публикации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор научного издания (по JCR Science Edition, JCR Social Sciences Edition или SJR))*  
Пункт не является обязательным к заполнению. Могут приводиться публикации, свидетельствующие о научной квалификации и достижениях руководителя проекта, за исключением публикаций, указанных в п. 2.9 настоящей формы.*на языке оригинала*

|  |
| --- |
| 1. Русяк И.Г., Липанов А.М., Ушаков В.М. Физические основы и газовая динамика горения порохов в артиллерийских системах: монография. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016. – 456 с.   Перевод: Rusyak I.G., Lipanov A.M., Ushakov V.M. Physical basis and gas dynamics of combustion of gunpowders in artillery systems. Moscow, Izhevsk, Institute for Computer Research. 2016. 456 p. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26792180>.   1. Липанов А.М., Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А. Программный комплекс моделирования стрельбы с подвижного носителя. Известия Российской Академии Ракетных и Артиллерийских Наук. 2019. № 108. С. 111-119.   Перевод: Lipanov A.M., Rusyak I.G., Sufiyanov V.G., Korolev S.A. Software complex for simulation the shooting from a moving carrier. Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2019. No. 108. P. 111-119. https://elibrary.ru/item.asp?id=41109555.   1. Lipanov A.M., Korolev S.A., Rusyak I.G. Optimization of Aerodynamic Form of Projectile for Solving the Problem of Shooting Range Increasing. XXV Conference on High-Energy Processes in Condensed Matter (HEPCM 2017). AIP. Conf. Proc. Vol. 1893. AIP Publishing, 2017. P. 030085-1-030085-9. (Web of Science, Scopus, SJR 2018 0.182). [https://doi.org/10.1063/1.5007543](https://doi.org/10.1134/S1990478914030053), DOI: 10.1063/1.5007543 2. Программа для расчета углов наведения орудия при стрельбе по неподвижной и движущимся целям. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661545 от 29.10.2015 г. Авторы Русяк И.Г., Тененев В.А., Карпов А.И., Королев С.А., Нефедов Д.Г.   Перевод: A program for calculating gun pointing angles when firing at stationary and moving targets. Certificate of state registration of the computer program No. 2015661545 dated October 29, 2015. Authors Rusyak I.G, Tenenev V.A., Karpov A.I., Korolev S.A., Nefedov D.G. https://www1.fips.ru/fips\_servl/fips\_servlet?DB=EVM&DocNumber=2015661545&TypeFile=html.   1. Программа [расчета углов наведения и корректировки стрельбы на основе интеллектуального анализа данных о положении цели и отклонений снарядов от цели](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50428954). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023615914 от 20.03.2023 г. Авторы Королев С.А., Нефедов Д.Г., Русяк И.Г.   Перевод: A program for calculating the pointing angles and shooting adjustments based on intelligent analysis of data on the position of the target and deviations of projectiles from the target. Certificate of state registration of the computer program No. 2023615914 dated March 20, 2023. Authors Korolev S.A., Nefedov D.G., Rusyak I.G. https://www1.fips.ru/fips\_servl/fips\_servlet?DB=EVM&DocNumber=2023615914&TypeFile=html. |



**2.13 Опыт выполнения научных проектов***(указываются наименования фондов (организаций), их местонахождение (страна), форма участия (руководитель или исполнитель), номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)*

|  |
| --- |
| 1) АО «НЦВ Миль и Камов», НИР, тема «Теоретические и прикладные исследования повышения точности применения неуправляемых авиационных средств поражения за счёт учета в прицельных системах возмущающего действия струи несущего винта вертолёта» (шифр «Вихрь»), 2020 г., исполнитель.  2) Грант РФФИ, № 20-01-00072, тема «Разработка математических моделей и численных методов решения пространственных сопряженных нестационарных задач газовой динамики и механики многофазных реагирующих деформируемых гетерогенных сред в условиях выстрела», 2020-2022 г., исполнитель.  3) АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», НИР, тема «Математическое моделирование поведения специально подготовленных образцов с покрытиями в имитационных испытаниях. Расчетно-теоретическое обоснование выбора геометрии и условий испытаний», 2021 г., исполнитель.  4) ФКП «НИО «ГБИП России», СЧ НИР, тема «Разработка программного обеспечения «Виртуальное приборное поле» (шифр «Метрология»), 2021-2022 г., исполнитель.  5) ООО «НПО «Дельта», НИР, тема «Разработка математического, алгоритмического и программного обеспечения системы наведения и корректировки стрельбы самонаводящейся метаемой установки в составе интеллектуальной системы управления стрельбой», 2022 г., исполнитель. |

**В том числе проектов, финансируемых РНФ (при наличии):**

|  |
| --- |
| нет |

2.17 **Опыт образовательной деятельности за последние 5 лет***(указывается информация о руководстве аспирантами, адъюнктами, интернами, ординаторами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)*

|  |
| --- |
| Разработан новый образовательный курс “Прикладное программное обеспечение в механике сплошных сред” для магистрантов “ИжГТУ имени М.Т. Калашникова”. Руководил шестью магистрантами. |

Форма 3. Сведения об организации  
собираются автоматически на основе [регистрационных данных организации, через которую будет осуществляться финансирование ("Форма Т")](https://grant.rscf.ru/site/user/org-edit?rid=000000000000000000000000)

Форма 4. Содержание проекта

**4.1. Научная проблема, на решение которой направлен проект**

|  |
| --- |
| *Существенное повышение дальности и точности поражения цели при стрельбе из артиллерийских систем на основе комплексного математического моделирования физических процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел, с использованием методов искусственного интеллекта* |

введите информацию:

**4.2. Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы**

|  |
| --- |
| *В настоящее время задачи внутренней, внешней и конечной баллистики при срабатывании артиллерийского выстрела рассматриваются отдельно. При этом многие явления, сопровождающие артиллерийский выстрел, не учитываются, возможности современных вычислительных технологий и визуальных технологий виртуальной реальности используются недостаточно. На данном этапе это приводит к отставанию возможностей математического моделирования от постоянно растущих требований к повышению ударной мощности ствольной артиллерии и сдерживает повышение производительности труда при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. В конечном итоге, это приводит к увеличению объема экспериментальных исследований, либо к занижению тактико-технических характеристик при проектировании образцов артиллерийского вооружения.*  *Математическое моделирование задач внешней баллистики в настоящее время осуществляется на основе решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих движение снаряда с коэффициентами аэродинамических сил и моментов, определяемыми из серии экспериментов для стационарно закрепленных снарядов или стрельбовых испытаний. Предлагаемый подход к математическому моделированию внешней баллистики основан на решении нестационарной задачи пространственного движения снаряда с учетом его аэродинамического обтекания на основе уравнений Навье-Стокса. Это дает возможность определять индивидуальные зависимости для коэффициентов аэродинамических сил и моментов, действующих на различные типы снарядов, в том числе и для вновь разрабатываемых снарядов, что является принципиальным моментом. Такой подход позволяет более полно исследовать устойчивость движения снарядов на траектории с учетом различных факторов, более точно решать задачу повышения дальности стрельбы за счет оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы снаряда, исследовать влияние возникновения асимметрии формы и перераспределения массы в полете внутри снаряда на траекторию его движения, на дальность и точность стрельбы.*  *Важное значение с точки зрения дальности на современном этапе приобретает активно-реактивный принцип метания снаряда. В данном случае наблюдается отставание от лучших зарубежных образцов боеприпасов. Предполагается, что оптимизация баллистических характеристик, связанных с активным и пассивным участками траектории полета такого снаряда (таких как угол стрельбы, масса ракетного топлива, импульс и интервал работы двигатели на траектории полета и др.), позволит решить данную проблему.*  *Интеллектуальная система наведения и корректировки снаряда должна работать по принципу “поражение цели с первого выстрела”. Реализация этого принципа достигается за счет выстрела с запасом по дальности и последующей корректировкой траектории снаряда на основе расчетной траектории путем программной реализации изменения формы снаряда и/или перемещения подвижных масс внутри снаряда на траектории полета. Такой подход является автономным и будет независим от спутниковой системы наведения, которая может быть выведена из строя в самый неподходящий момент.*  *Актуальной задачей является замещение импортного программного обеспечения инженерных расчетов и математического моделирования процессов, протекающих при артиллерийском выстреле. Это особенно важно в настоящее время, так как большое количество наукоёмкого программного обеспечения для проведения подобных расчетов разработано и разрабатывается за рубежом, в котором не исключено наличие незадокументированных возможностей, а при определенных условиях может быть закрыт доступ для закупки или обновления соответствующего программного обеспечения. В связи с этим, в проекте предполагается использование там, где это возможно, современного российского программного обеспечения или собственного кода.* |

введите информацию:

**4.3. Конкретная задача (задачи) в рамках проблемы, на решение которой направлен проект, ее масштаб и комплексность**

|  |
| --- |
| *Разработка и реализация комплексного подхода математического компьютерного моделирования физических процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел с применением боеприпасов различного типа на этапе внутренней, внешней и конечной баллистики, для существенного повышения дальности, точности и эффективности стрельбы из артиллерийских систем.*  *Данный подход является новым, как с точки зрения комплексности решаемых задач, так и с точки зрения учета в математических моделях новых явлений, сопровождающих процесс артиллерийского выстрела (неравномерного горения, напряженно-деформированного и теплового состояния ствола, колебаний, конструкции заряда, аэродинамики, устойчивости, управления полем поражения и движением снарядов при наведении на цель).*  *В рамках проекта разрабатываются численные методы, алгоритмы математического моделирования нестационарных физических процессов артиллерийского выстрела и программы решения комплекса взаимосвязанных задач внутренней, внешней, конечной баллистики и управления движением снаряда на траектории в сочетании с пространственной визуализацией физических процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел.*  *Выполнение проекта включает решение следующих задач:*  *1. Создание пространственных математических моделей нестационарных физических процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел:*   * *математическая модель нестационарных процессов внутренней баллистики артиллерийского выстрела, учитывающая пространственную компоновку заряда, движение различных компонентов заряда и напряженно-деформированные состояния осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов и ствола артиллерийского орудия в условиях теплового воздействия и нагружения давлением пороховых газов в процессе артиллерийского выстрела;* * *постановка задачи структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда с целью повышения начальной скорости осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов;* * *математическая модель пространственной нестационарной задачи внешней баллистики с учетом аэродинамического обтекания и устойчивости движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределения массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете;* * *математическая модель оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов с целью повышения дальности и точности стрельбы;* * *пространственная математическая модель формирования спектра осколков при детонации заряда и разрушении оболочки снаряда;* * *имитационная модель разлета осколков для оценки эффективности действия боеприпаса;* * *математическая модель интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель.*   *2. Разработка и тестирование численных методов и алгоритмов компьютерного моделирования пространственных нестационарных физических процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел:*   * *численные методы и алгоритмы решения нестационарных задач моделирования процессов внутренней баллистики артиллерийского выстрела, учитывающих пространственную компоновку заряда, движение различных компонентов заряда и напряженно-деформированные состояния снарядов и ствола артиллерийского орудия в условиях теплового воздействия и нагружения давлением пороховых газов в процессе артиллерийского выстрела;* * *численные методы и алгоритмы решения задач структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда с целью повышения начальной скорости осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов;* * *численные методы и алгоритмы решения пространственной нестационарной задачи внешней баллистики с учетом аэродинамического обтекания и устойчивости движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределения массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете;* * *численные методы и алгоритмы решения задачи оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов с целью повышения дальности и точности стрельбы;* * *адаптивные численные методы и алгоритмы решения задачи распространения ударной волны при срабатывании осколочно-фугасного снаряда;* * *численные методы и алгоритмы решения пространственной задачи моделирования поля поражения, адаптированного под характер цели, за счет различной ориентации снаряда при подходе к цели с учетом рельефа местности и высоты подрыва;* * *численные методы и алгоритмы решения задачи создания интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель.*   *3. Создание программного обеспечения:*   * *программно-вычислительный комплекс “Компьютерное моделирование и численное решение задач внутренней, внешней и конечной баллистики артиллерийского выстрела, оптимизация баллистических характеристик и визуализация физических процессов”;* * *программно-вычислительный комплекс “Интеллектуальная автономная система корректировки траектории движения снарядов при наведении на цель”.*   *4. Проведение исследований:*   * *исследование возможности увеличения начальной скорости осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов за счет структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда;* * *исследование влияния динамики поведения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов и колебаний ствола артиллерийского орудия при выстреле на внешнебаллистическую траекторию их движения;* * *исследование возможности корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при возникновении асимметрии формы и перераспределения массы внутри снаряда в полете;* * *исследование возможности увеличения дальности стрельбы осколочно- фугасного снаряда за счет оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик, аэродинамической формы снаряда и повышения устойчивости его движения;* * *исследование возможности увеличения дальности стрельбы активно-реактивного снаряда за счет оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик, времени включения, продолжительности работы и тяги двигателя, аэродинамической формы снаряда и повышения устойчивости его движения;* * *исследование возможности формирования осколочного поля поражения, адаптированного под характер объекта поражения, за счет различной ориентации снарядов при подходе к цели с учетом рельефа местности и высоты подрыва;* * *исследование воздействия ударной волны на объект поражения при подрыве осколочно-фугасного снаряда на траектории, в зависимости от высоты подрыва и расстояния до цели, в пространственной постановке;* * *исследование совместного воздействия осколочного поля и ударной волны на объект поражения при подрыве осколочно-фугасного снаряда на траектории, в зависимости от высоты подрыва и расстояния до цели, в пространственной постановке;* * *исследование повышения точности стрельбы за счет применения интеллектуальных автономных алгоритмов корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель.* |

введите информацию:

**4.4. Научная новизна исследований, обоснование достижимости решения поставленной задачи (задач) и возможности получения запланированных результатов**

**Научная новизна исследований, обоснование того, что проект направлен на развитие новой для научного коллектива тематики\*\*\*\*\*\*\*\*, обоснование достижимости решения поставленной задачи (задач) и возможности получения предполагаемых результатов**

**\*\*\*\*\*\*\*\*В том числе, на определение объекта и предмета исследования, составление плана исследования, выбор методов исследования.**

|  |
| --- |
| *В ходе выполнения проекта будут получены следующие новые результаты:*  *1. Математические модели пространственных нестационарных физических процессов артиллерийского выстрела, где впервые отражена пространственная схема компоновки артиллерийского заряда.*  *2. Численные методы и алгоритмы решения связанной задачи внутренней баллистики, напряженно-деформированного и теплового состояния ствола артиллерийского орудия и снаряда в процессе выстрела для исследования и определения влияния волновых процессов в стволе и колебаний ствола на устойчивость и динамику движения снаряда при выходе на внешнебаллистическую траекторию.*  *3. Математическая модель и алгоритмы решения задачи структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда с целью повышения начальной скорости снаряда.*  *4. Математические модели, численные методы и алгоритмы решения пространственных нестационарных задач внешней баллистики, учитывающих аэродинамику обтекания и устойчивость движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределении массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете.*  *5. Алгоритмы оптимизации баллистических условий, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов для решения задачи увеличения дальности стрельбы.*  *6. Математическая модель и алгоритмы формирования поля поражения, адаптированного под различный характер целей (точечные, линейные и площадные), за счет различной ориентации снаряда при подходе к цели с учетом рельефа местности и высоты подрыва.*  *7. Математическая модель и алгоритмы интеллектуальной автономной системы корректировки траетории снаряда при наведении на цель.*  *8. Программно-вычислительный комплекс, реализующий численное решение задач внутренней, внешней и конечной баллистики, оптимизацию баллистических характеристик, обработку данных и пространственную визуализацию физических процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел.*  *9. Программно-вычислительный комплекс, реализующий интеллектуальную автономную систему корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель.*  *10. Впервые проводятся исследования*:   * *возможности увеличения начальной скорости снаряда за счет оптимизации пространственной компоновки заряда;* * *влияния динамики поведения ствола и снаряда при выстреле на движение снаряда по внешнебаллистической траектории;* * *возможности увеличения дальности стрельбы за счет активно-реактивного принципа метания, оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик, времени включения, продолжительности работы и тяги двигателя, аэродинамической формы снаряда и повышения устойчивости его движения;* * *возможности корректировки траектории движения аэродинамически и гироскопически стабилизируемых метаемых снарядов за счет возникновения асимметрии формы и перераспределения массы внутри снарядов в полете;* * *возможности формирования поля поражения, адаптированного под характер цели, за счет различной ориентации снаряда при подходе к цели с учетом рельефа местности и высоты подрыва;* * *эффективности интеллектуальной автономной системы корректировки траетории снарядов при наведении на цель.*   *Обоснование достижимости решения поставленной задачи и возможности получения запланированных результатов.*  *При решении задач внутренней баллистики.*  *Учет конструкции заряда в математической модели имеет важное значение для повышения адекватности вычислительного эксперимента. Например, расчеты баллистики выстрела для комбинированных зарядов в нульмерной постановке приводят к одинаковым результатам вне зависимости от схемы заряжания, тогда как расчеты по одномерным моделям дают существенные изменения максимального давления и дульной скорости в зависимости от последовательности расположения трубчатого и зерненого пороха в камере. Современные компоновки порохового заряда имеют пространственный характер и не укладываются в одномерную схему моделирования. Все это ограничивает возможности структурно-параметрической оптимизации схемы заряжания, которая должна основываться на пространственных моделях внутренней баллистики. Следующая проблема, которую следует обсуждать, это использование идеи взаимопроникающих континуумов. Для трубчатых порохов представления процессов внутренней баллистики, построенных на принципах механики двухфазных реагирующих гетерогенных взаимопроникающих сред, неприменимы. Здесь необходимо параллельно рассматривать процессы горения и движения пороховых газов внутри и вне каналов пороховых трубок.*  *Сопряженная задача газовой динамики и напряженно-деформированного состояния снаряда и ствола связана с предельными режимами метания и с точностью определения углов вылета снаряда при его выходе из канала ствола в связи с необходимостью учета прогиба и колебания ствола при выстреле. В данном случае предполагается, что влияние рассматриваемых факторов может привести к потере устойчивости снаряда на начальном участке траектории.*  *В настоящее время у коллектива авторов имеется опыт решения сформулированных выше задач в одномерной и осесимметричной постановках и построения пространственных адаптивных расчетных сеток. Разработана и реализована схема структурно-параметрической оптимизации на основе генетического алгоритма.*  *При решении задач внешней баллистики.*  *Решение нестационарной системы уравнений пространственного движения тела с учетом аэродинамики обтекания позволяет исследовать устойчивость движения снарядов на внешнебаллистической траектории под действием начальных возмущений и возмущений внешней среды. Учет пространственности при решении задач движения и аэродинамики обтекания позволяет исследовать влияние асимметрии формы и неоднородности распределения массы на устойчивость движения различных типов снарядов.*  *В настоящее время имеется опыт решения задачи моделирования движения снаряда по траектории на основе полной системы уравнений пространственного движения твердого тела, задачи аэродинамического обтекания тела в осесимметричной постановке с использованием собственного программного кода на основе прямого численного моделирования (DNS) и задачи моделирования аэродинамического обтекания метаемых тел произвольной формы с использованием программных пакетов ЛОГОС и ANSYS.*  *При решении задач конечной баллистики.*  *Для снарядов осколочно-фугасного типа поле поражения формируется за счет разлета осколков и распространения ударной волны.*  *Решение задачи формирования области разлета осколков при подлете снаряда к объекту поражения позволит исследовать возможности адаптации поля осколочного поражения под характер цели за счет высоты подрыва и различной ориентации снаряда при подходе к цели вследствие потери устойчивости.*  *В настоящее время коллективом авторов разработан алгоритм определения плотности осколочного потока и построения области осколочного поражения при стрельбе осколочно-фугасными снарядами с учетом рельефа местности и высоты подрыва в стандартных условиях подлета к цели.*  *Имеется также опыт решения задачи и верификации результатов численного моделирования процесса распространения параметров ударной волны при подрыве боеприпасов различной мощности в стационарных условиях на полигоне.*  *При решении задачи построения интеллектуальной автономной системы наведения.*  *В настоящее время коллективом авторов разработана интеллектуальная система корректировки и управления стрельбой из артиллерийского вооружения на основе расчетных траекторий и использования данных беспилотных летательных аппаратов.*  *При создании программного обеспечения.*  *В рамках проекта будет создан программно-вычислительный комплекс математического моделирования и реалистичной пространственной визуализации баллистических процессов “Компьютерное моделирование и численное решение задач внутренней, внешней и конечной баллистики артиллерийского выстрела, оптимизация баллистических характеристик и визуализация физических процессов”, а также программно-вычислительный комплекс “Интеллектуальная автономная система корректировки траектории снаряда при наведении на цель”.*  *Соответствующее программное обеспечение будет создано на основе разработанного в рамках НИР в 2017-2021 годах коллективом авторов программно-вычислительного комплекса: “Визуализация и моделирование полигонных стрельбовых испытаний ракетно-артиллерийского вооружения” (см. файл с дополнительной информацией).* |

введите информацию:

**4.5. Современное состояние исследований по данной проблеме, основные направления исследований в мировой науке и научные конкуренты**

|  |
| --- |
| Внутренняя баллистика в стволе орудия  Современный отечественный уровень исследований в области внутренней баллистики артиллерийских установок определяется научными школами Национального исследовательского Томского государственного университета (А.Н. Ищенко, В.З. Касимов и др. [3-4]) и Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова (А.М. Липанов, И.Г. Русяк и др. [5-6]).  При моделировании внутрикамерных процессов широко применяются многопроцессорные вычислительные системы. В Институте автоматизации проектирования РАН совместно с Институтом прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН коллективом авторов (И.В. Семенов, П.С. Уткин и др.) разработан программный комплекс “Барс-1МП”, предназначенный для моделирования внутрибаллистического процесса в одномерной постановке [7-8].  Результаты математического моделирования влияния динамики процессов внутренней баллистики на напряженно-деформированное состояние ствола представлено в статье В.Г. Суфиянова (ИжГТУ имени М.Т. Калашникова) [9]. В работе В.Л. Баранова (Тульский государственный университет) и Н.П. Смирнова (ФКП НТИИМ) [10] представлена модель волнового нагружения и разрушения стволов артиллерийского орудия в процессе выстрела. Пространственные модели взаимодействия системы «орудие - ствол – выстрел» разрабатываются коллективом авторов ЦНИИ “Буревестник”. В работе [11] излагается методика определения углов вылета снаряда из нарезных и гладкоствольных орудий на основе численного пространственного моделирования в пакете LS-DYNA, при этом внутрибаллистические расчеты выполняются в нульмерной постановке.  Активно проводятся работы по разработке программного обеспечения в зарубежных странах, входящих в блок НАТО. Среди зарубежных программных комплексов для решения задачи внутренней баллистики широко применяются: программный комплекс MOBIDIC NG [12] (ISL/ETBS, Франция), программные комплексы CTA1 [13], FHIBS [14] (QinetiQ, Великобритания), программный комплекс AMI1D NG (AMImultiD, Германия) [15]. Позволяет решать задачу внутренней баллистики в одномерной постановке, программный комплекс XKTC (Aberdeen Proving Ground, США) [16], программный комплекс Casbar (Defence Science and Technology Organisation, Австралия) [17]. программный комплекс FINFLO (Helsinki University of Technology Laboratory of Aerodynamics, Финляндия) [18, 19].  Исследования в области моделирования внутрибаллистических процессов проводятся в Швеции (FOAM) [20], Сербии (TWOPIB) [21], Южной Африке (FLO++) [22] и в других странах.  В настоящем проекте к разработке предлагается программно-вычислительный комплекс, в котором планируется совместить технологию визуального ЗD-моделирования и технологию вычислительного эксперимента. Предлагаемый программно-вычислительный комплекс ориентирован на решение задач внутренней, внешней, конечной баллистики и управления движением снаряда на траектории при проектирования артиллерийских систем и получение новых знаний о процессах, протекающих при выстреле, за счет решения взаимосвязанных баллистических задач.  Внутренняя баллистика РДТТ  ВНУТРЕННЯЯ БАЛЛИСТИКА РДТТ  Внешняя баллистика  *До настоящего времени во внешнебаллистических расчетах используются законы сопротивления, полученные на основе обработки результатов экспериментов. Это эталонные зависимости коэффициента лобового сопротивления, известные как «закон 1930 г.» (формула Сиаччи), «закон 1943 г.» (для вращающихся снарядов) и «закон 1958 г.» (для оперенных снарядов). Для определения индивидуальных коэффициентов сопротивления используются поправочные коэффициенты формы, определяемые из дополнительных экспериментов [31].* *Применение методов вычислительной аэрогидродинамики в программных пакетах инженерного моделирования ЛОГОС, OpenFOAM, FlowVision, ANSYS и др. позволяет непосредственно рассчитывать аэродинамические коэффициенты метаемых тел [32-34].*  *Математические модели внешней баллистики различаются количеством основных переменных, описывающих движение снаряда, и количеством факторов, учитываемых в расчете. В наиболее простых моделях снаряд представлен в виде материальной точки, его движение описывается тремя координатами [35-36]. Эффекты, связанные с аэродинамическим сопротивлением и деривацией вращающихся снарядов, учитываются с помощью эмпирических зависимостей и поправочных функций. Более общие модели внешней баллистики наряду с уравнениями поступательного движения рассматривают также колебания снаряда относительно центра масс [37]. В этих моделях рассматриваются осесимметричные снаряды, что не позволяет исследовать влияние асимметрии формы и неоднородности распределения массы на устойчивость движения. Эти эффекты позволяют учитывать модели внешней баллистики, основаные на полной системе уравнений движения твердого тела, описывающие движение снаряда с шестью степенями свободы (6DoF): тремя координатами центра масс и тремя углами его ориентации в пространстве [38-39].*  *Решение пространственной задачи аэродинамического обтекания требует применения достаточно точных, но в то же время экономичных, методов ее решения. В настоящее время существуют три основных подхода к численному моделированию турбулентных течений [40]. Традиционный подход, основанный на решении уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу (Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS) для несжимаемой среды и осредненных по Фавру (Favre-Averaged Navier-Stokes, FANS) для сжимаемой среды, наименее трудоемкий и не требует огромных вычислительных затрат [41, 42]. Вместе с тем, результаты расчетов по методу RANS (FANS) очень чувствительны к выбору той или иной замыкающей полуэмпирической модели турбулентности. Второй подход, основанный на решении неосредненных уравнений Навье-Стокса, – метод прямого численного моделирования (Direct Numerical Simulation, DNS) [43, 44]. Этот подход наиболее точен и универсален, но требует значительных вычислитьных затрат, поэтому полноценное использование прямого численного моделирования при решении нестационарных задач внешней баллистики в настоящее время не представляется возможным. Третий подход заключается в использовании гибридных методов, опирающихся на алгоритмы RANS (FANS) и LES (Large eddy simulation) [45], известный в литературе как метод моделирования отсоединенных вихрей DES (Detached-Eddy Simulation), занимает промежуточное положение по точности и трудоемкости между первым и вторым подходами [40, 46]. Для проведения массовых расчетов аэродинамического обтекания снаряда на траектории в широком диапазоне изменения параметров эффективно применение наиболее экономичного подхода, основанного на RANS (FANS). При проведении тестовых расчетов с целью настройки параметров моделей турбулентности применяются более точные подходы, основанные на DNS, LES и DES.*  *Оптимизация аэродинамической формы снарядов проводится на основе экспериментальных и теоретических исследований. При этом рассматривается влияние отдельных параметров конструкции снаряда на дальность стрельбы [47, 48]. Решение пространственной задачи аэродинамики снарядов позволит провести комплексную оптимизацию баллистических условий стрельбы и аэродинамической формы снарядов с целью повышения дальности и точности выстрела.*  *Активно-реактивный принцип метания*  МОЁ  *Одним из способов повышения дальности стрельбы является использование активно-реактивного принципа метания. Активно-реактивный снаряд имеет в своей конструкции реактивный двигатель, срабатываемый на траектории его движения. Дальность стрельбы для такого снаряда существенно зависит от параметров работы реактивного двигателя [49, 50], в том числе от времени срабатывания двигателя на траектории [51].*  *Отечественные образцы снарядов для дальнобойной артиллерии калибра 152 мм с донным газогенератором имеют дальность до 30 км, с реактивным двигателем – до 40 км. Наибольшую дальность из зарубежных образцов активно-реактивных снарядов калибра 155 мм имеет снаряд M2005 V-LAP (Rheinmetall Denel Munition, Германия - ЮАР), дольность которого достигает 54 км [52]. Снаряд V-LAP использует комбинацию донного газогенератора, включающегося после покидания ствола орудия, примерно, через 2 с, с реактивным ускорителем, включающимся затем после выгорания донного газогенератора.*  *Предполагается, что оптимизация баллистических характеристик, связанных с активным и пассивным участками траектории полета активно-реактивного снаряда (таких как масса ракетного топлива, время включения, импульс и интервал работы двигатели на траектории полета), позволит достигнуть дальности стрельбы на уровне лучших зарубежных образцов боеприпасов.*  *В исследовании В.Е. Смирнова (АО «НИМИ» г. Москва) и Л.А. Розанова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) рассматривалась идея дальнобойного управляемого артиллерийская снаряда, где дальность 152мм снаряда увеличилась до 80 км за счёт реактивного двигателя, газогенератора и аэродинамических рулей*  *Исследования активно-реактивного принципа метания проводятся в БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, (Кэрт, Знаменский), в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, в частности академиком Липановым. Актуальные проблемы, связанные с активно-реактивными снарядами, обозреваются в журнале «ИЗВЕСТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК».*  *Импульсная коррекция траектории*  КОРРЕКЦИЯ  *Боеприпасы с импульсной коррекцией («Смельчак» и «Сантиметр») работают на основе RCIC (Российская концепция импульсной коррекции) - технология предусматривает коррекцию на конечном (20–600 метров) участке баллистической траектории. Для этого в центральной части боеприпаса, в районе центра приложения аэродинамических сил (центра давления), перпендикулярно оси снаряда расположены сопла пороховых реактивных двигателей – два у «Смельчака» и четыре у «Сантиметра». Двигатели импульсные – при включении полностью выгорает один пороховой двигатель, которых у «Смельчака» по три на сопло, а у «Сантиметра» – два на сопло. Ввиду того, что снаряды вращаются в полете, несколькими импульсами и достигается коррекция траектории.*  *«Краснополь» начинает плавную коррекцию траектории за 2,5 км и имеет больший маневр по выборки отклонения от цели, чем «Сантиметр», начинающий коррекцию с 600 метров. Иначе говоря, артсистема с «Сантиметром» вынуждена стрелять точнее. Если еще проще, то стрельба «Краснополем» ведется без пристрелки, а для вероятности поражения «Сантиметром» 0,9 настоятельно рекомендуется выпустить по району целей 1–2 пристрелочных снаряда.*  *Важно отметить, что RCIC-технология создает основу для создания высокоточной артиллерии второго поколения, в которой предусматривается реализовать принцип "выстрелил-забыл". Разработки в этой области ведут ряд стран, однако достоверной информации о принятии на вооружение зарубежных армий комплексов второго поколения нет. По-видимому, не удается в рамках ACAG создать в приемлемых габаритах автономную головку самонаведения, реализующую дальность захвата более 300-500 м.*  *В то же время в артиллерийском корректируемом снаряде на базе RCIC-технологии, обладающем малым техническим рассеиванием на баллистическом участке полета, оснащенном высокоэнергетической ракетной импульсной системой коррекции траектории, такое решение может быть реализовано.*  *Первым российским боеприпасом с импульсной коррекцией была 240-мм мина ЗФ5 «Смельчак», разработанная под руководством В.С. Вишневского. Мина «Смельчак» (рис. 1) представляет собой боеприпас длиной 1,635 м и массой 134 кг.*  *При повышении дальности стрельбы увеличивается зона рассеивания снарядов. С целью уменьшения рассеивания применяются системы коррекции траектории, основанные на различных принципах. Основными способами аэродинамической коррекции являются: тормозные устройства, жестко закрепленные, вращающиеся и «развязанные» рули [53]. Наличие внешних механических устройств (стабилизатров, рулей и др.) значительно повышает аэродинамическое сопротивление снаряда. Перспективным способом коррекции траектории снаряда, стабилизированого вращением, является применение механизма подвижных внутренних масс. Искусственное создание асимметрии массы снаряда в полете приводит к колебаниям его оси относительно центра масс [54]. За счет изменения аэродинамических коэффициентов снаряда, зависящих от угла нутации, также можно изменять траекторию его движения.*  *Система коррекции траектории "SPACIDO" (Nexter, Франция) [55] для снарядов калибра 155 мм, устанавливаемая на САУ "CAESAR", использует данные, получаемые от артиллерийской баллистической станции, находящейся на позиции. Принцип работы системы следующий: после вылета снаряда из канала ствола артиллерийская баллистическая станция определяет его скорость. По величине отклонения скорости снаряда от табличной скорости рассчитывется момент времени раскрытия аэродинамического тормоза. Полученные данные передаются на взрыватель по командной радиолинии. В рассчитанный момент раскрываются "лепестки" аэродинамического тормоза. Такой способ позволяет скорректировать дальность по измеренному значению начальной скорости снаряда.*  *В настоящей работе предполагается разработка алгоритмов расчета траектории, учитыващих большой набор баллистических, метеорологических и топографических факторов, в том числе рельеф местности. Применение способа коррекции траектории, основанного на перемещении внутренних масс, позволяет скорректировать траекторию не только по дальности, но и по боковому отклонению.*  Интеллектуальная система наведения  Управление огнем артиллерийской батареи обеспечивается комплексами автоматизированного управления «Фальцет-М», «Машина-M» и «Капустник-С» (АО «ВНИИ «Сигнал») [63]. Разработанные комплексы обеспечивают полностью автоматизированный цикл управления огнём дивизиона (батареи) от начального ориентирования на местности до наведения и открытия огня каждого орудия батареи. Это достигается благодаря специально разработанным институтом автоматизированным системам управления наведением и огнём (АСУНО) семейства «Успех», размещаемым на огневых средствах. Также имеется возможность определения начальной скорости снаряда с использованием радиолокационных систем, что позволяет повысить точность поражения цели за счёт использования корректируемых боеприпасов.  В связи с увеличением количества разнообразной информации актуальной задачей является создание интеллектуальной системы наведения, позволяющей с учётом различных факторов в режиме реального времени определять параметры наведения на цель. В России, начиная с 2000–х годов, большое внимание уделяется автоматизации процессов ведения огня, повышению автономности отдельных орудий, а также комплексированию огневых средств со средствами разведки и управления. На повестке дня разработка интеллектуального артиллерийского комплекса, объединяющего средства обнаружения целей, систему передачи и обработки информации, а также поражение целей в условиях, близких к реальному времени [64, 65].  Перспективы развития вооруженных сил передовых стран мира практически всеми военными специалистами ассоциируются, в первую очередь, с информатизацией, роботизацией, автоматизацией управления войсками и оружием [66]. Среди зарубежных государств наиболее существенные усилия по созданию систем ИИ прилагают США. В деятельность по исследованию военного потенциала ИИ вовлечены многочисленные структуры военного и разведывательного сообщества США, в частности Управление перспективных исследований и разработок Минобороны (DARPA), Научно-исследовательская лаборатория Военно-воздушных сил (AFOSR), Исследовательская лаборатория Сухопутных войск (ARL), Институт поведенческих и социальных наук Сухопутных войск (ARI), Управление НИР Военно-морских сил (ONR). В США создан Объединенный центр искусственного интеллекта (Joint Artificial Intelligence Center), который консолидирует усилия национального военного сообщества по разработкам в сфере ИИ. Исходя из анализа наметившихся тенденций, в ближайшее время первоочередными объектами внедрения искусственного интеллекта в военной сфере станут системы обработки и интеграции информационно-разведывательных данных, включая акустические (звуковые и голосовые), оптические и радиоэлектронные; классификация на этой основе угроз и идентификация целей.  В Китае также серьёзно относятся к развитию ИИ. В КНР в 2017 году была разработана подробная стратегия по превращению Китая к 2030 году в «лидера и глобальный центр инноваций в области искусственного интеллекта» [67]. В данной стратегии особое внимание уделялось применению искусственного интеллекта в области автоматизации боевых действий и прогнозирования.  Как отмечается в [68], Россия в области разработки прикладных систем искусственного интеллекта, особенно применительно к военной сфере, пока еще отстает от развитых зарубежных стран.  *Одним из важных элементов системы управления огнем является решение задачи быстрого и точного определения траектории полета снаряда для поражения заданной цели.* *Определение параметров наведения орудия на цель связано с решением обратной задачи внешней баллистики. При решении обратной задачи внешней баллистики рассматриваются два подхода. В первом подходе используется итерационный метод последовательных приближений (метод стрельбы). При этом на каждом шаге итерационного алгоритма необходимо решать прямую задачу внешней баллистики, поэтому время расчетов здесь может играть существенную роль, с точки зрения, погрешности прогнозирования положения подвижной цели в момент ее предполагаемой встречи со снарядом. Поэтому рассматривается второй “быстрый” способ решения обратной задачи на основе интеллектуальных методов анализа данных (нейронные сети, деревья решений, генетические алгоритмы) [69, 70]. Системы управления стрельбой, основанные на разрабатываемых алгоритмах, позволят оперативно определять параметры наведения при стрельбе по стационарным и движущимся точечным, линейным и площадным целям, повышая вероятность их поражения.*  Программный комплекс  Визуальные 3D технологии в последнее время начали широко использоваться при решении задач имитационного моделирования технических систем. Эти технологии широко используются для создания систем виртуальной реальности для обучения действиям в реальных условиях и подготовке боевых операций. Примером использования таких технологий является платформа Virtual Battlespace 3 (Bohemia Interactive®, Чехия) [71], которая используется некоторыми странами НАТО для моделирования боевых действий на суше, в воздухе и на воде. Работы по моделированию боевых ситуаций в виртуальной реальности и управлению боевыми действиями с использованием геоинформационных систем ведутся в Институте исследований систем окружающей среды (ESRI, США) [72].  Информационно-моделирующая среда для поддержки принятия решений и планирования применения оперативно-стратегических, оперативных и тактических формирований ВС РФ разрабатывается в Центре подготовки Сухопутных войск РФ (ОАО «НПО РусБИТех», Россия) [73]. Разрабатываемое ОАО «НПО РусБИТех» программное обеспечение позволяет отображать реальные процессы в режиме виртуальной реальности.  Элементы виртуальной реальности для моделирования фотореалистичных изображений реализованы при создании стрелкового тренажера в Ижевском государственном техническом университете имени М.Т. Калашникова и ИПМ УрО РАН (А.М. Липанов, Ю.К. Шелковников, А.Ю. Веркиенко и др.) [74].  В ОКБ МЭИ (А.С. Чеботарев, В.Н. Кудряшов, Г.Ф. Гудзь и др.) [75] разработан аппаратно-программный комплекс «Виртуальный полигон» для обеспечения исследований, определения свойств объектов системы полигонных испытаний и управления жизненным циклом вооружений, военной и специальной техники.  Разработанная российскими программистами программная платформа 3D-визуализации в реальном времени UNIGINE 2 Sim [76] находит применение при подготовке тренажеров гражданской и военно-технической продукции.  *Выводы*  *Анализ результатов предшествующих исследований и обобщение передового опыта, накопленного в теории баллистического проектирования, показывает, что в большинстве известных научных коллективов, занимающихся моделированием артиллерийского выстрела, процессы внутренней, внешней и конечной баллистики рассматриваются раздельно. При этом не учитываются многие физические процессы и явления, сопровождающие артиллерийский выстрел, такие как: продольные волны давления, зависящие от конструкции заряда, колебания и прогиб ствола, взаимодействие снаряда со стволом, динамика газодинамических процессов на выходе из канала ствола, нестационарные эффекты гидродинамического обтекания, асимметрия формы и неоднородность распределения массы метаемых тел и пр. Современные суперкомпьютерные технологии позволяют проводить комплексное математическое моделирование процессов срабатывания артиллерийского выстрела, что открывает более широкие возможности* *для решения задачи существенного повышения боевой эффективности боеприпаса.*  Литература   1. Русяк И.Г., Ушаков В.М. Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН. 2001. 259 с. 2. Русяк И.Г., Липанов А.М., Ушаков В.М. Физические основы и газовая динамика горения порохов в артиллерийских системах: монография. М.‑Ижевск: Изд-во Института компьютерных исследований. 2016. 456 с. 3. Хоменко Ю.П., Ищенко А.Н., Касимов В.З. Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 1999. 256 с. 4. Русяк И.Г., Ищенко А.Н., Касимов В.З., Суфиянов В.Г., Ермолаев М.А. Программный комплекс моделирования артиллерийского выстрела. [Известия высших учебных заведений. Физика](https://elibrary.ru/contents.asp?id=33951645). 2013. Т. 56. [№ 6-3](https://elibrary.ru/contents.asp?id=33951645&selid=21370790). С. 51-57. 5. Липанов А.М., Вагин А.В., Русяк И.Г., Суфиянов В.Г. [Моделирование различных стадий процесса выстрела и полигонных испытаний артиллерийских систем](https://elibrary.ru/item.asp?id=23271920). В сборнике: [Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и ствольных системах (ICOC'2014)](https://elibrary.ru/item.asp?id=23271495). 2014. С. 194-212. 6. Rusyak I.G. [Matematical Modeling of Gradual Ignition Process and Unsteady Erosive Burning of Gunpowder Charge at Triggered Artillery Shot](https://elibrary.ru/item.asp?id=23395664). [Journal of Computational and Engineering Mathematics](https://elibrary.ru/contents.asp?id=34068486). 2015. Т. 2. [№ 1](https://elibrary.ru/contents.asp?id=34068486&selid=23395664). С. 21-38. 7. Семенов И.В., Уткин П.С., Ахмедьянов И.Ф., Меньшов И.С. Применение многопроцессорной вычислительной техники для решения задач внутренней баллистики. В сборнике: [Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2011)](https://elibrary.ru/item.asp?id=22641139). Труды международной научной конференции. 2011. С. 266-277. 8. Семенов И.В., Меньшов И.С., Уткин П.С., Ахмедьянов И.Ф. [БАРС-1МП – Программный комплекс для численного исследования внутрибаллистических процессов на многопроцессорных ЭВМ](https://elibrary.ru/item.asp?id=21370793). [Известия высших учебных заведений. Физика](https://elibrary.ru/contents.asp?id=33951645). 2013. Т. 56. [№ 6-3](https://elibrary.ru/contents.asp?id=33951645&selid=21370793). С. 61-63. 9. Суфиянов В.Г. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния ствола при выстреле. Интеллектуальные системы в производстве. № 3. 2016. С. 13-17. 10. Баранов В.Л., Смирнов Н.П. Продольное волновое нагружение и поперечная деструкция стволов артиллерийских систем при выстреле. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016. № 2 (316). С. 14-18. 11. Маликов Н.Ш., Слуцкий В.Е. Пространственная модель исследования динамики взаимодействия в системе «орудие – ствол – выстрел» для решения задач точности стрельбы. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 5(107). С. 184-190. 12. Longuet B., Della Pieta P., Franco P., Legeret G., Papy A., Reynaud C., Boisson D., Millet P., Taiana E., Carriere A. MOBIDIC NG: a 1D/2D code suitable for interior ballistics and vulnerability modeling. Proceedings of the 22nd International Symposium on Ballistics. Vancouver, Canada. 14-18 November 2005. P. 362-371. 13. Woodley C.R. Modelling the internal ballistics of mortars using the one-dimensional code CTA1. 20th International Symposium on Ballistics, Orlando. September 2002. P. 354–360. 14. Woodley C.R., Billett S., Lowe C., Speares W., Toro E. The FHIBS internal ballistics code. Proceedings of the 22nd International Symposium on Ballistics. Vancouver. November, 2005. P. 322–329. 15. Woodley C.R., Carriere A. et al. Comparisons of internal ballistics simulations of 40mm gun firings. Proceedings of the 23rd International Symposium on Ballistics. Tarragona, Spain. 16-20 April 2007. P. 359-367. 16. Gough P. S. Interior ballistics modeling: extensions to the XKTC code and analytical studies of pressure gradient for lumped parameter codes. US Army Research Laboratory Contract Report ARL-CR-460. Aberdeen proving ground. 2001. 17. Harrland A., Johnston I.A. Review of Solid Propellant Ignition Models Relative to the Interior Ballistic Modelling of Gun Systems. Defence Science and Technology Organisation. Edinburgh, Australia. Report DSTO-TR-2735. August, 2012. 31 p. URL: <http://www.dsto.defence.gov.au/publications/scientific.php>. 18. Kaurinkoski P., Hellsten A. FINFLO: The Parallel Multi-Block Flow Solver. Helsinki University of Technology, Laboratory of Aerodynamics. 1998. 19. Nyberg H. Evaluation of gun propelling charge performance during the life cycle by statistical utilization of data collected in test and troop gun firings. Doctoral Dissertation. Helsinki University of Technology. 2009. 75 p. URL: <http://lib.tkk.fi/Diss/2009/isbn9789512297221/isbn9789512297221.pdf>. 20. Janzon B., Östmark H., Energetic materials and ballistics research at FOA facing the 21st century. Proceedings of the European Forum on Ballistics of Projectiles, Saint-Louis, France. 11-14 April 2000. P. 573-584. 21. Jaramaz S., Micković D. Two-phase flows in gun barrel: Theoretical and experimental studies. International Journal of Multiphase Flow. June 2011. No. 37(5). P. 475-487. 22. du Toit P.S. A two-dimensional interior ballistics model for modular solid propellant charges. Proceedings of the 19th International Symposium on Ballistics, Interlaken, Switzerland. 7-11 May 2001. P. 89-97. 23. Şentürk A., Işık H., Evci C. Thermo-mechanically coupled thermal and stress analysis of interior ballistics problem. International Journal of Thermal Sciences. 2016. Vol. 104. P. 39-53. 24. Güngör O. An approach for optimization of the wall thickness (weight) of a thickwalled cylinder under axially non-uniform internal service pressure distribution. Proceedings of the 30th International Symposium on Ballistics. Long Beach, California, USA. 11–15 September 2017. P. 150-157. 25. Wölbing R., Chiroli M., Steinbach C., Hruschka R., Baschung B. Numerical Simulations of Reactive Two-Phase Flows in Interior Ballistics. Proceedings of the 3rd World Congress on Momentum, Heat and Mass Transfer (MHMT'18) Budapest, Hungary. April 12 - 14, 2018. CSP 113. DOI: 10.11159/csp18.113. 26. Bougamra A., Lu H. Multiphase CFD Simulation of Solid Propellant Combustion in a Small Gun Chamber. International Journal of Chemical Engineering. Vol. 2014. P. 1-10. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/971808>. 27. Luo Q, Zhang X. Numerical simulation of gas-solid two-phase reaction flow with multiple moving boundaries. International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow. No. 25(2). P. 375-390. DOI: 10.1108/HFF-01-2014-0018. 28. Ding C., Liu N., Zhang X. A mesh generation method for worn gun barrel and its application in projectile-barrel interaction analysis. Finite Elements in Analysis and Design. 2017. Vol. 124. P. 22–32. 29. Sun Y., Zhang X. Parameter Analyses of Two Dimensional Heat Transfer of Gun Barrel Model. Proceedings of the 29th International Symposium on Ballistics. Defence Technology. April 2016. Vol. 12. No. 2. P. 858-868. 30. Xu L., Luo K., Zhao Y., Fan J., Cen K. Multiscale investigation of tube erosion in fluidized bed based on CFD-DEM simulation. Chemical Engineering Science. 29 June 2018. Vol.183. P. 60-74. 31. Бурлов В.В. и др. Баллистика ствольных систем. М.: Машиностроение. 2006. 461 с. 32. Любимов А.К. и др. Применение системы ANSYS к решению задач механики сплошной среды. Практическое руководство. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского университета. 2006. 227 с. 33. Darwish M., Mangani L., Moukalled F. The finite volume method in computational fluid dynamics: an advanced introduction with OpenFOAM and Matlab. Springer. 2015. Т. 113. 791 с. 34. Королев С.А., Карсканов С.А. Математическое моделирование обтекания тела вращения сверхзвуковым потоком газа. Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2014. № 3. С. 123-133. 35. Степанов В.П. Внешняя баллистика. Томск: Изд-во Том. ун-та. 2011. 542 с. 36. McCoy R.L. Modern Exterior Ballistics: The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles. Atglen, PA: Schiffer Publishing Ltd. 2012. 328 p. 37. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика. М.: Машиностроение. 2005. 608 с. 38. Tenenev V.A., Korolev S.A., Rusyak I.G. Numerical Simulation Of Rotating Body Movement In Medium With Various Densities. В сборнике: AIP Conference Proceedings 18. Сер. "International Conference on the Methods of Aerophysical Research, ICMAR 2016: Proceedings of the 18th International Conference on the Methods of Aerophysical Research". 2016. С. 030073. 39. Знаменский Е.А., Кэрт Б.Э., Набоков Ю.А. Обобщенная математическая модель пространственного движения артиллерийских боеприпасов. В сборнике: Фундаментальные основы баллистического проектирования. Сер. “Библиотека журнала “ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ”. 2017. С. 11-14. 40. Гарбарук А. В. Современные подходы к моделированию турбулентности: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2016. 234 с. 41. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений: учебное пособие СПб.: Изд-во Балт. гос. техн. ун-та. 2001. 108 с. 42. Wilcox D.C. Turbulence modeling for CFD. La Canada, California: CDW Industries Inc. 1998. 537 p. 43. Смирнов Е.М., Абрамов А.Г., Иванов Н.Г., Корсаков А.Б. Прямое численное моделирование и метод моделирования крупных вихрей в нестационарных задачах турбулентной термоконвекции. Научно технические ведомости. СПб: Изд-во Политехнического ун-та. 2004. №2 (36). C. 33-47. 44. Sandberg R.D., Fasel H.F. Direct Numerical Simulations of Transitional Supersonic Base Flows. AIAA Journal. 2006. Vol. 44. No. 4. P. 848-858. 45. Simon F., et al. Reynolds-Averaged Navier–Stokes/Large-Eddy Simulations of Supersonic Base Flow. AIAA Journal. 2006. Vol. 44. No. 11. P. 2578-2590. 46. Luo D., et al. Computational Study of Supersonic Turbulent-Separated Flows Using Partially Averaged Navier-Stokes Method. Acta Astronautica. 2015. No. 107. P. 234–246. 47. Бабичев В.И., Ветров В.В., Елесин В.П. и др. Способы повышения баллистической эффективности артиллерийских управляемых снарядов. Известия РАРАН. 2010. № 3(65). С. 3–9. 48. Русяк И.Г., Королев С.А. Исследование путей повышения дальности стрельбы за счет внешнебаллистических факторов. В сборнике: Фундаментальные основы баллистического проектирования. Сер. “Библиотека журнала “ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ”. 2017. С. 37-45. 49. Мищенкова О.В. Выбор параметров твердотопливного двигателя при оптимизации траектории полета ракеты // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. №3(71). 2016. С. 74-77. 50. Arkhipov V., Perfilieva K. Optimization of construction of the rocket-assisted projectile // MATEC Web of Conferences Сер. "International Youth Scientific Conference "Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment", HMTTSC 2017". 2017. С. 01003. 51. Королев С.А., Липанов А.М., Русяк И.Г. Исследование путей повышения дальности стрельбы ствольной артиллерии // Вестник Ижевского гос. техн. ун-та им. М.Т. Калашникова. 2018. №3. Т. 21. С. 185-191. 52. Новый рекорд дальности стрельбы ствольной артиллерии // Военное обозрение – URL: https://topwar.ru/164952.html (дата обращения 31.10.2022) 53. Бабичев В.И., Хохлов Н.И., Шигин А.В. Общие сведения о зарубежных боеприпасах с системой коррекции траектории // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. Вып. 8. С. 263-275. 54. Королев С.А., Русяк И.Г., Тененев В.А. Исследование влияния асимметрии формы и массы снаряда на точность поражения цели // Сб. матер. VI Всеросс. научно-техн. конф. "Фундаментальные основы баллистического проектирования – 2018". 2018. С. 24-27. 55. SPACIDO. Course correction system. URL: https://www.nexter-group.fr (дата обращения 31.10.2022) 56. Буренок В.М., Чижевский О.Т., Иванов К.М., Кэрт Б.Э., Знаменский Е.А., Чубасов В.А. Некоторые перспективные направления развития боеприпасов и выстрелов. Часть I // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2021. № 1 (116). С. 82-93. 57. Буренок В.М., Чижевский О.Т., Иванов К.М., Кэрт Б.Э., Знаменский Е.А., Чубасов В.А. Некоторые перспективные направления развития боеприпасов и выстрелов. Часть II // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2021. № 2 (117). С. 11-24. 58. Вагин А. В., Липанов А. М., Русяк И. Г., Суфиянов В. Г. Имитационное моделирование осколочного поля при срабатывании снаряда на траектории // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. No 4. С. 15-20. 59. Moon, S.-H. Weapon effectiveness and the shapes of damage functions // Defence Technology. 17 (2). 2021. P. 617–632. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.04.009> 60. Chen C., Shi Q. You Z., Geb H., Zhang F. A method to determine the shell layout scheme for equipment battlefield damage tests under artillery fire // Defence Technology. Vol. 17, Issue 2. 2021. Pp. 682-691. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.02.019> 61. Aliev A.A., Bayramov, A.A., Sabziev, E. N. (2018). Effectiveness of artillery systems // Advanced Information Systems. 2 (3). P. 115–122. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.20> 62. Масленников В.А. Направления повышения огневой мощи зарубежных танков на современном этапе // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева. 2018. № 4 (16). С. 95-99. 63. Литвиненко В. Новый век бога войны // Армейский сборник Журнал Министерства обороны Российской Федерации. 2018. 64. Литвиненко В., Клюкойть А. Модернизация и развитие новых образцов артиллерии // Армейский сборник Журнал Министерства обороны Российской Федерации. № 11. 2021 г. 65. Князькин М., Демидюк И., Ларькин В. Инновации на службе артиллерии // Армейский сборник Журнал Министерства обороны Российской Федерации. – № 8 – 2022. 66. Буренок, В. М. Искусственный интеллект в военном противостоянии будущего / В. М. Буренок // Военная мысль. – 2021. – № 4. – С. 106-112. 67. Буренок В. М. Новая парадигма силового противостояния государств на основе применения искусственного интеллекта / В. М. Буренок // Вооружение и экономика. – 2020. – № 2(52). – С. 4-8. 68. Абросимов В. К. Искусственный интеллект и проблемы развития вооружения и военной техники / В. К. Абросимов // Вооружение и экономика. – 2021. – № 2(56). – С. 5-21. 69. Тененев В.А., Якимович Б.А. Генетические алгоритмы в моделировании систем. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2010. – 308 с. 70. Королев С.А., Липанов А.М., Русяк И.Г., Тененев В.А. Разработка подходов к решению обратной задачи внешней баллистики в различных условиях применения // Вестник Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2019. №57. С. 76-83. 71. Virtual Battlespace 3 // Bohemia Interactive. – URL: https://bisimulations.com/virtual-battlespace-3 (дата обращения: 16.10.2022). 72. ArcGIS // ESRI. – URL: http://www.esri.com/ (дата обращения: 16.10.2020). 73. Центры боевой подготовки // ООО «РусБИТех». – URL: http://www.rusbitech.ru (дата обращения: 16.10.2022). 74. Веркиенко А.Ю. Разработка и исследование оптико-электронных преобразователей координат для стрелковых тренажеров: автореф. дис.… канд. тех. наук: 05.11.13 / Веркиенко Александр Юрьевич. – Ижевск, 2000. – 17 с. 75. Чеботарев А.С., Кудряшов В.Н., Гудзь Г.Ф. ОКБ МЭИ: АПК «Виртуальный полигон» // Национальная оборона. – URL: http://www.oborona.ru/includes/periodics/defense/2011/0712/13056893/detail.shtml (дата обращения: 16.10.2022). 76. UNIGINE Sim // UNIGINE. – URL: <https://unigine.com/> (дата обращения: 16.10.2022). |

|  |
| --- |
| Основные научные конкуренты.   1. В области моделирования внутрибаллистических процессов артиллерийских систем одна из ведущих научных школ в России находится в Национальном исследовательском Томском государственном университете (НИИ прикладной математики и механики НИ ТГУ). В работах авторов Ю.П. Хоменко, А.Н. Ищенко, В.З. Касимов и др. рассматриваются вопросы математического моделирования внутрибаллистических процессов в одномерной и двумерной постановках и напряженно-деформированного состояния ствола артиллерийского орудия под действием сил давления пороховых газов в квазиодномерной постановке. 2. В области моделирования внешней баллистики снарядов и ракет одна из ведущих научных школ в России находится в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана, где под руководством А.А. Дмитриевского и Л.Н. Лысенко разработаны математические модели и численные методы решения задач внешней баллистики с использованием параметрических зависимостей для коэффициентов аэродинамических сил и моментов. В работах ученых Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова Б.Э. Кэрта, Е.А. Знаменского, Ю.А. Набокова рассматриваются вопросы коррекции траектории снаряда и устойчивости его движения. В Тульском государственном университете в работах Ветрова В.В., Костяного Е.М. рассматриваются способы повышения дальности стрельбы артиллерийского снаряда за счет применения реактивного двигателя. 3. Основным мировым научным конкурентом в области математического моделирования внутренней и внешней баллистики является Исследовательская лаборатория армии США (US Army Research Laboratory), в которой с 70-х годов XX века проводятся исследования в области математического моделирования баллистических процессов под руководством известного ученого P.S. Gough. Так, разрабатываемый с 80-х годов программный комплекс XKTC (Aberdeen Proving Ground, США) позволяет решать задачу движения двухфазной среды в одномерной и двумерной постановках с учетом межгранулярного напряжения, теплообмена с каналом ствола и прогрева пороховых элементов. Вероятно, в связи с развитием суперкомпьютерных вычислений, разрабатывается программный код, предназначенный для решения задач внутренней баллистики и в трехмерной постановке. 4. В Европе ряд организаций из Франции, Германии и Великобритании участвуют в программе (European Undertakings for Research Organisation, Programmes and Activities (EUROPA)) по исследованию внутрибаллистических процессов воспламенения и горения порохов. В состав участников программы входят Institut Franco-Allemand de Recherches de Saint-Louis (ISL, Франция-Германия, A. Carriere, P. Franco, J. Nussbaum), ETBS (Франция, B. Longuet) и QinetiQ (Великобритания, C. Woodley, S. Fuller и др.). Консорциумом этих организаций были созданы и используются программные коды для моделирования процессов внутренней баллистики: AMI (ISL), MOBIDIC (ETBS), CTA1 и FHIBS (QinetiQ). В совокупности эти программные коды позволяют моделировать двухфазные течения в одномерной и двумерной постановках с несколькими фракциями заряда с учетом прогрева пороховых элементов, сил межфазного трения и межгранулярного напряжения. По данным последних публикаций в программном коде AMI реализуются модели внутренней баллистики и в трехмерной постановке. 5. Одним из потенциальных конкурентов могут стать ученые из КНР, например, из Harbin Institute of Technology, Nanjing University of Science & Technology и др. Это связано со значительными инвестициями в научные исследования в области военно-технического вооружения. Сегодня учеными КНР большинство исследований проводится с использованием ANSYS, ABACUS и других программных средств общего назначения. Не исключено, что в ближайшее время в КНР будут разработаны собственные коды для решения задач внутренней и внешней баллистики. 6. В последнее время за рубежом уделяют внимание доработке неуправляемых боеприпасов, внедрив в них систему коррекции траектории: SPACIDO (Франция), ECF (Великобритания, Швеция) для 155-мм снарядов с тормозными устройствами, работающими по сигналам радиобаллистической станции и GPS; ХМ1156 (США) для 155-мм снарядов с жестким креплением рулей, работающей по сигналам GPS; MGK (США) для 120-мм мины; Silver Bullet (Израиль), Denel (ЮАР) для 155-мм снарядов с «развязанными» рулями, работающими по сигналам GPS. 7. В работах ученых МГТУ имени Н.Э. Баумана представлен широкий круг вопросов, посвященных осколочно-фугасному действию снарядов. Основные подходы к формированию эффективного осколочного поля сформулированы в работах В.А Одинцова, С.С. Рассохи, В.В. Селиванова и др. В БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова совместно с Михайловской военной артиллерийской академией опубликованы работы Б.Э. Кэрта, Е.А. Знаменского, В.А. Чубасова, Е.Н. Никулина по оценке эффективности действия осколочно-фугасных снарядов, в том числе и на базе вычислительного эксперимента. В отличие от представленных выше работ, разрабатываемая авторами проекта методика имитационного моделирования позволяет оценивать эффективное поле поражения с учетом рельефа местности и пространственного расположения объектов поражения. Активно ведутся работы по разработке перспективных осколочно-фугасных средств поражения в зарубежных странах: КНР (Y. P. Lian, X. Zhang, X. Zhou, S. Ma, Y. L. Zhao, M. Wang, F. Lu, X. Li, L. Cao), США (D.E. Grady, L.S. Costin, L. Chhabildas, W. Reinhart, L.T. Wilson, D.R. Reedal, J.T. Klopcic), Франции (A. Klavzar, M. Seidl), Англии (D. Felix, I. Colwill, P. Harris), Норвегии (A.K. Prytz, G. Odegardstuen, E. Sogstad), Южной Корее (S.H. Moon) и в других странах. 8. ВНИИ "Сигнал" за последние годы разработал ряд средств по автоматизации управления огнем артиллерии. Автоматизированной системой управления наведением и огнём (АСУНО) семейства «Успех» оснащаются новейшие российские артиллерийские системы, в том числе самоходные артиллерийские установки "Мста-СМ". В настоящее время ведутся работы по созданию АСУНО с новыми принципами управления, с элементами искусственного интеллекта, с реализацией интуитивно понятного интерфейса и системы поддержки принятия решения, что позволит существенно сократить время управления огневыми средствами и исключить ошибки операторов. 9. Зарубежные комплексы управления огнем артиллерии ATLAS (Франция), AFATDS (США), ADLER (Германия), BATES (Великобритания), ODIN (Норвегия) обеспечивают планирование, координацию, управление и выполнение огневых задач. Благодаря развитию электроники, бортовые электронные баллистические вычислители и цифровые системы управления огнем в настоящее время стали доступны как для буксируемых пушек, так и для самоходных платформ. Американская армия разработала систему TAD (Towed Artillery Digitalisation - оцифровывание буксируемой артиллерии) для своей 155-мм самоходной гаубицы BAE Systems M-777A2. Новейшая немецкая самоходная гаубица PzH-2000 разработки компаний Krauss-Mafei Wegmann и Rheinmetall проектировалась с самого начала как полностью автономная система. Управлением огнем занимается бортовой компьютер MICMOS разработки EADS/Hensoldt. На самоходной гаубице французской армии Nexter CAESAR калибра 155 мм установлена бортовая цифровая система управления огнем FAST-HIT, радар измерения начальной скорости и кольцевой лазерный гироскоп с GPS, что позволяет повысить точность стрельбы при использовании корректируемых снарядов. 10. В настоящее время США, Китай, Великобритания, Франция, Израиль, Индия и ряд других стран реализуют национальные военные программы, предусматривающие применение искусственного интеллекта (ИИ) в системах управления вооружения и военной техники. Наиболее существенные усилия по созданию систем ИИ в области вооружения прилагают США, в частности Управление перспективных исследований и разработок Минобороны (DARPA), Научно-исследовательская лаборатория Военно-воздушных сил (AFOSR), Исследовательская лаборатория Сухопутных войск (ARL), Институт поведенческих и социальных наук Сухопутных войск (ARI), Управление НИР Военно-морских сил (ONR). Китай значительно расширил финансирование науки и техники, относящейся к технологиям четвёртой индустрии (4IR), особенно к ИИ. В армии Китая уделяется особое внимание использованию ИИ и машинного обучения для повышения точности разведданных, информационной войны и распознавания целей. |

введите информацию:

**4.6. Предлагаемые методы и подходы, общий план работы на весь срок выполнения проекта и ожидаемые результаты***(объемом не менее 2 стр.; в том числе указываются ожидаемые конкретные результаты по годам; общий план дается с разбивкой по годам)*

*на русском языке*

|  |
| --- |
| *Предлагаемые методы и подходы.*  *Для решения сформулированных в рамках проекта задач применяются методы математического моделирования, вычислительной математики, технологии визуализации и компьютерного моделирования.*  *При моделировании пространственного течения гетерогенной реагирующей смеси в канале ствола используется подход, основанный на представлениях Эйлера для моделирования течения продуктов горения и на представлениях Лагранжа для моделирования движения горящих пороховых элементов. Для решения системы уравнений пространственного течения газовой фазы на неподвижной эйлеровой сетке (эйлеров этап) в задаче внутренней баллистики применяется численный метод контрольных объемов. Для решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений пространственного движения пороховых элементов, входящих в заряд (лагранжев этап), применяются явные численные методы Рунге-Кутта. Для решения уравнений динамики напряженно-деформированного состояния снаряда и ствола применяются конечно-элементные методы. Для решения задачи горения пороха в условиях выстрела применяется подход, основанный на использовании тепловой теории горения, учитывающий нестационарные процессы в конденсированной фазе зоны горения пороха. При решении уравнений теплопроводности и диффузии в задаче теории горения применяются неявные схемы второго порядка точности.*  *Исследование и разработка методов построения адаптивных пространственных сеток в задачах внутренней баллистики обусловлена необходимостью учета существенного (на порядки) изменения областей интегрирования в условиях артиллерийского выстрела, связанного с изменениями параметров (прежде всего давления), а также выгоранием порохового заряда и движением снаряда.*  *Применение методов распараллеливания обусловлено необходимостью решения пространственных нестационарных взаимосвязанных разномасштабных задач, требующих больших вычислительных ресурсов.*  *Необходимость использования пространственных моделей обусловлена применением на практике пространственных компоновок зарядов, не укладывающихся в одномерные модели. От схемы расположения пороховых элементов в заряде существенно зависит поле внутрибаллистических параметров и дульная скорость снаряда. Предлагаемые подходы и методы позволяют более адекватно рассчитывать параметры выстрела для различных схем заряжания и проводить структурно-параметрическую оптимизацию. Для решения задач структурно-параметрической оптимизации в последнее время широко применяются генетические алгоритмы (ГА). Они позволяют за приемлемое время получать близкие к оптимальному решения многоэкстремальных задач с произвольной целевой функцией. Такие алгоритмы просты в масштабировании, позволяя распределять вычислительную нагрузку на множество вычислительных устройств. Для применения ГА к решению задачи структурно-параметрической оптимизации необходимо выбрать методы кодирования переменных различных типов, генетические операторы отбора, скрещивания и мутации особей, выбора лучшего решения и учета ограничений.*  *Начальные возмущения снаряд получает при выходе из канала ствола. Для моделирования динамики ствола артиллерийской системы могут быть использованы современные пакеты инженерного проектирования, позволяющие решать задачу в трехмерной постановке. Тем не менее, моделирование в одномерной постановке находит применение при исследовании колебаний ствола при выстреле и позволяет получить решение с точностью, сопоставимой с решением в трехмерной постановке, при этом значительно сокращая время проведения расчетов. В проекте рассматривается математическая модель колебаний ствола переменного сечения в упругой постановке в одномерном, двумерном (осесимметричном) и трехмерном приближениях. В одномерном приближении колебания ствола описываются системой дифференциальных уравнений, которые решаются методом конечных разностей на основе интегро-интерполяционного подхода. В остальных случаях применяется метод конечных элементов.*  *Подход к решению задачи внешней баллистики основан на решении полных уравнений движения тела и аэродинамики обтекания для анализа режимов устойчивости движения снаряда. Для более полного описания механизмов и критериев устойчивости решается пространственная нестационарная задача для определения сил и моментов, действующих на тело в каждый момент времени. Для решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений движения тела с высокой частотой вращения используются численные методы высокого порядка точности (метод Рунге-Кутта-Вернера 6-го порядка с контролем погрешности интегрирования). Применение методов более низкого порядка (метод Рунге-Кутта 4-го порядка) требует малого шага по времени, сравнимого с вычислительной погрешностью.*  *Решение пространственной нестационарной задачи аэродинамического обтекания требует применения достаточно точных, но в то же время экономичных методов ее решения. В проекте планируется применение подхода RANS (FANS) с использованием моделей турбулентности. Для настройки и тестирования параметров моделей турбулентности проводится сравнительный анализ для осесимметричного случая с результатами, полученными с помощью методов DNS, LES, DES.*  *Подход к решению задачи внешней баллистики, основанный на решении полных уравнений движения тела, позволяет также исследовать эффективность различных способов коррекции снаряда на траектории, таких как: асимметрия формы и перераспределение массы внутри снаряда. В качестве перспективного способа коррекции траектории движения снаряда, стабилизированного вращением, рассматривается применение механизма подвижных внутренних масс. В математической модели внешней баллистики задается полная матрица моментов инерции асимметричного снаряда. Решение дифференциальных уравнений пространственного движения снаряда позволяет определить динамику углов нутации вращающегося снаряда и ее влияние на аэродинамическое сопротивление для коррекции траектории с целью минимизации отклонения снаряда от расчетной траектории.*  *В области конечной баллистики в данном проекте основное внимание будет уделено применению методов математического и имитационного моделирования. Подход к решению задачи оценки эффективности осколочного действия боеприпаса основывается на вычислении реальной площади осколочного поражения методом имитационного моделирования. При этом учитываются такие факторы как распределение масс, начальных скоростей и направлений движения поражающих элементов, а также скорость и направление движения снаряда в точке подрыва. В результате многократного моделирования определяется реальная область осколочного поражения. Для определения начального распределения геометрии, массы и начальных скоростей осколков, наряду с экспериментальными методами, планируется использовать математическое моделирование процесса подрыва боеприпаса на основе численных методов (конечных элементов и конечных объемов) решения уравнений детонации заряда, напряженно-деформированного состояния и разрушения материала. Здесь значительный интерес представляет анализ эффективности действия снаряда, движущего по внешнебаллистической траектории под действием инерционных сил, по сравнению с подрывом статического снаряда.*  *Оценка фугасного действия снарядов основывается на математическом моделировании процесса подрыва боеприпаса на основе численных методов решения уравнений движения сжимаемых газов: воздуха и продуктов детонации. В результате детонации возникает воздушная ударная волна, которая представляет собой распространяющийся с высокой скоростью достаточно тонкий слой воздуха высокой плотности. Эту особенность необходимо учитывать при решении уравнений движения газов для получения качественных результатов моделирования за приемлемое время. Одним из подходов к решению данной задачи является использование многомасштабного моделирования и адаптивной расчетной сетки с учетом движения ударной волны.*  *На основе совместного имитационного моделирования будут определены реальная эффективная площадь поражения с учетом совместного осколочного и фугасного действия, а также время и оптимальная высота подрыва, в том числе с учетом рельефа местности.*  *Построение интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения снарядов при наведении на цель основано на коррекции траектории снаряда, скорость которого определяется во время выстрела, по отношению к расчетной траектории штатного выстрела. Коррекция осуществляется путем программной реализации изменения формы снаряда и/или перемещения подвижных масс внутри снаряда на траектории полета. При этом, должны быть заданы такие условия наведения, чтобы дальность выстрела была заведомо выше штатной с учетом возможных разбросов характеристик боеприпаса и параметров наведения. Запас по дальности должен обеспечивать возможность эффективной коррекции траектории снаряда (что, как правило, связано с торможением) в сторону совпадения со штатной траекторией. Реализация такого подхода основана на решении обратных задач внешней баллистики. Для существенного сокращения времени подготовки данных предварительно проводится серия расчетов прямой задачи внешней баллистики для данного типа снаряда рассматриваемой артиллерийской системы и формируется база данных вычислительных экспериментов. На созданной базе данных проводится обучение аппроксиматоров для решения обратных задач. На основе полученных результатов моделирования строятся вторичные модели, что позволяет создать интеллектуальную систему корректировки траектории движения снарядов при наведении на цель. При решения данной задачи будут использоваться методы машинного обучения, такие как деревья решений и регрессий, метод опорных векторов, линейные и нелинейные регрессионные модели, а также интеллектуальные системы нечеткого логического вывода и нейронные сети глубокого обучения. Интеллектуальные системы, основанные на разрабатываемых алгоритмах, позволят оперативно определять параметры наведения при стрельбе по стационарным и движущимся точечным, линейным и площадным целям, управлять стрельбой с учетом вероятности поражения точечных и плотности покрытия линейных и площадных целей.*  *При создании элементов виртуальной реальности для моделирования фотореалистичных изображений используются технологии 3D визуализации, в частности, российская программная платформа UNIGINE Sim, которая обладает возможностями 3D-визуализации в реальном времени. При создании программного обеспечения используются среды разработки приложений MS Visual Studio и Qt. Написание программ осуществляется на языках C# – для графического пользовательского интерфейса, С++ – для проведения научных расчетов, Python – для расширения функциональных возможностей программного обеспечения. Ускорению процесса разработки программного обеспечения способствует использование сторонних модулей, библиотек и фреймворков*.  *Общий план работы:*  ***1 год****. “Создание комплекса математических моделей нестационарных физических процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел”:*   * *создание математической модели нестационарных процессов внутренней баллистики артиллерийского выстрела, учитывающей пространственную компоновку заряда, движение различных компонентов заряда и напряженно-деформированные состояния снарядов и ствола артиллерийского орудия в условиях теплового воздействия и нагружения давлением пороховых газов в процессе артиллерийского выстрела;* * *постановка задачи и разработка алгоритма структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда с целью повышения начальной скорости осколочно-фугасного и активно реактивного снарядов;* * *создание математической модели пространственной нестационарной задачи внешней баллистики с учетом аэродинамического обтекания и устойчивости движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределении массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете;* * *создание математической модели оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов с целью повышения дальности и точности стрельбы;* * *построение пространственной математической модели формирования спектра осколков при детонации заряда и разрушении оболочки снаряда;* * *создание имитационной модели разлета осколков для оценки эффективности действия боеприпаса;* * *создание математической модели интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель;* * *исследование влияния колебаний ствола на траекторию движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов после их выхода из канала ствола;* * *исследование возможности увеличения начальной скорости осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов за счет структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда;* * *исследование возможности формирования осколочного поля поражения, адаптированного под характер объекта поражения, за счет различной ориентации снарядов при подходе к цели с учетом рельефа местности и высоты подрыва.*   *Ожидаемые результаты выполнения 1 этапа проекта:*   * *математическая модель нестационарных процессов внутренней баллистики артиллерийского выстрела, учитывающая пространственную компоновку заряда и напряженно-деформированные состояния снарядов и ствола артиллерийского орудия в условиях теплового воздействия и нагружения давлением пороховых газов в процессе артиллерийского выстрела (математическая модель и постановка задачи);* * *постановка задачи и алгоритм структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда с целью повышения начальной скорости осколочно-фугасного и активно реактивного снарядов (математическая модель и постановка задачи);* * *математическая модель пространственной нестационарной задачи внешней баллистики с учетом аэродинамического обтекания и устойчивости движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределении массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете (математическая модель и постановка задачи);* * *математическая модель оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов с целью повышения дальности и точности стрельбы (математическая модель и постановка задачи);* * *пространственная математическая модель формирования спектра осколков при детонации заряда и разрушении оболочки осколочно-фугасного снаряда (математическая модель и постановка задачи);* * *имитационная модель разлета осколков для оценки эффективности действия боеприпаса (математическая модель и постановка задачи);* * *математическая модель интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель (математическая модель и постановка задачи);* * *базы данных трехмерных геометрических моделей и характеристик пороховых элементов, зарядов, осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов, артиллерийских стволов и свойств материалов (структура и наполнение баз данных);* * *результаты исследования влияния колебаний ствола на траекторию движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов после их выхода из канала ствола (анализ результатов исследований);* * *результаты исследования возможности увеличения начальной скорости осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов за счет структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда (анализ результатов исследований);* * *исследование возможности формирования осколочного поля поражения, адаптированного под характер объекта поражения, за счет различной ориентации снарядов при подходе к цели с учетом рельефа местности и высоты подрыва (анализ результатов исследований).*   *По итогам выполнения 1 этапа проекта планируются:*   * *доклады на конференциях (не менее 5);* * *публикации в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science или Scopus (не менее 2);* * *публикации в изданиях, индексируемых в RSCI (не менее 2);* * *публикации в изданиях, индексируемых в иных иностранных базах данных (не менее 1);* * *оформление заявок на государственную регистрацию программ для ЭВМ (не менее 1);* * *защита кандидатской диссертации аспирантом Клюкиным Д.А.*   ***2 год.****“Разработка и тестирование численных методов и алгоритмов компьютерного моделирования пространственных нестационарных физических процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел”:*   * *разработка и тестирование численных методов и алгоритмов решения нестационарных задач моделирования процессов внутренней баллистики артиллерийского выстрела, учитывающих пространственную компоновку заряда, движение различных компонентов заряда и напряженно-деформированные состояния снарядов и ствола артиллерийского орудия в условиях теплового воздействия и нагружения давлением пороховых газов в процессе артиллерийского выстрела;* * *разработка и тестирование численных методов и алгоритмов решения пространственной нестационарной задачи внешней баллистики с учетом аэродинамического обтекания и устойчивости движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределении массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете;* * *разработка и тестирование численных методов и алгоритмов решения задачи оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов с целью повышения дальности и точности стрельбы;* * *разработка и тестирование адаптивных численных методов и алгоритмов решения задачи распространения ударной волны при срабатывании осколочно-фугасного снаряда;* * *разработка и тестирование численных методов и алгоритмов решения задачи создания интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель;* * *исследование влияния динамики поведения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов и колебаний ствола артиллерийского орудия при выстреле на внешнебаллистическую траекторию их движения;* * *исследование возможности корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при возникновении асимметрии формы и перераспределения массы внутри снарядов в полете;* * *исследование возможности увеличения дальности стрельбы осколочно-фугасного снаряда за счет оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик, аэродинамической формы снаряда и повышения устойчивости его движения;* * *исследование воздействия ударной волны на объект поражения при подрыве осколочно-фугасного снаряда на траектории, в зависимости от высоты подрыва и расстояния до цели, в пространственной постановке;* * *исследование повышения точности стрельбы за счет применения интеллектуальных автономных алгоритмов корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель.*   *Ожидаемые результаты выполнения 2 этапа проекта:*   * *численные методы и алгоритмы решения нестационарных задач внутренней баллистики артиллерийского выстрела, учитывающих пространственную компоновку заряда, движение различных компонентов заряда и напряженно-деформированные состояния снарядов и ствола артиллерийского орудия в условиях теплового воздействия и нагружения давлением пороховых газов в процессе артиллерийского выстрела (описание численных методов, алгоритмов и результатов тестирования);* * *численные методы и алгоритмы решения пространственной нестационарной задачи внешней баллистики с учетом аэродинамического обтекания и устойчивости движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределении массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете (описание численных методов, алгоритмов и результатов тестирования);* * *численные методы и алгоритмы решения задачи оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов с целью повышения дальности и точности стрельбы (описание численных методов, алгоритмов и результатов тестирования);* * *адаптивные численные методы и алгоритмы решения задачи распространения ударной волны при срабатывании осколочно-фугасного снаряда (описание численных методов, алгоритмов и результатов тестирования);* * *численные методы и алгоритмы решения задачи создания интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель (описание численных методов, алгоритмов и результатов тестирования);* * *результаты исследования влияния динамики поведения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов и колебаний ствола артиллерийского орудия при выстреле на внешнебаллистическую траекторию их движения (анализ результатов исследований);* * *результаты исследования возможности корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при возникновении асимметрии формы и перераспределения массы внутри снаряда в полете (анализ результатов исследований);* * *результаты исследования возможности увеличения дальности стрельбы осколочно- фугасного снаряда за счет оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик, аэродинамической формы снаряда и повышения устойчивости его движения (анализ результатов исследований);* * *результаты исследования воздействия ударной волны на объект поражения при подрыве осколочно-фугасного снаряда на траектории, в зависимости от высоты подрыва и расстояния до цели, в пространственной постановке (анализ результатов исследований);* * *результаты исследования повышения точности стрельбы за счет применения интеллектуальных автономных алгоритмов корректировки траектории движения осколочно-фугасного снаряда при наведении на цель (анализ результатов исследований).*   *По итогам выполнения 2 этапа проекта планируются:*   * *доклады на конференциях (не менее 5);* * *публикации в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science или Scopus (не менее 3);* * *публикации в изданиях, индексируемых в RSCI (не менее 2);* * *публикации в изданиях, индексируемых в иных иностранных базах данных (не менее 2);* * *оформление заявок на государственную регистрацию программ для ЭВМ (не менее 2).*   ***3 год****.****“****Создание программного обеспечения для комплексного решения взаимосвязанных задач баллистики выстрела артиллерийских систем, с целью повышения дальности и точности стрельбы”:*   * *программная реализация численных методов и алгоритмов решения нестационарных задач моделирования процессов внутренней баллистики артиллерийского выстрела, учитывающих пространственную компоновку заряда, движение различных компонентов заряда и напряженно-деформированные состояния снарядов и ствола артиллерийского орудия в условиях теплового воздействия и нагружения давлением пороховых газов в процессе артиллерийского выстрела;* * *программная реализация численных методов и алгоритмов решения пространственной нестационарной задачи внешней баллистики с учетом аэродинамического обтекания и устойчивости движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределении массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете;* * *программная реализация численных методов и алгоритмов решения задачи оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов с целью повышения дальности и точности стрельбы;* * *программная реализация адаптивных численных методов и алгоритмов решения задачи распространения ударной волны при срабатывании осколочно-фугасного снаряда;* * *программная реализация численных методов и алгоритмов решения задачи создания интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель;* * *разработка программно-вычислительного комплекса “Компьютерное моделирование и численное решение задач внутренней, внешней и конечной баллистики артиллерийского выстрела, оптимизация баллистических характеристик и визуализация физических процессов”;* * *разработка программно-вычислительного комплекса “Интеллектуальная автономная система корректировки траектории движения снарядов при наведении на цель”;* * *исследование возможности увеличения дальности стрельбы активно-реактивного снаряда за счет оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик, времени включения, продолжительности работы и тяги двигателя, аэродинамической формы снаряда и повышения устойчивости его движения;* * *исследование совместного воздействия осколочного поля и ударной волны на объект поражения при подрыве осколочно-фугасного снаряда на траектории, в зависимости от высоты подрыва и расстояния до цели, в пространственной постановке;* * *исследование повышения точности стрельбы за счет применения интеллектуальных автономных алгоритмов корректировки траектории движения активно-реактивного снаряда при наведении на цель.*   *Ожидаемые результаты выполнения 3 этапа проекта:*   * *программно-вычислительный комплекс “Компьютерное моделирование и численное решение задач внутренней, внешней и конечной баллистики артиллерийского выстрела, оптимизация баллистических характеристик и визуализация физических процессов” (описание программного обеспечения, свидетельства о регистрации программ для ЭВМ);* * *программно-вычислительный комплекс “Интеллектуальная автономная система корректировки траектории движения снарядов при наведении на цель” (описание программного обеспечения, свидетельства о регистрации программ для ЭВМ);* * *результаты исследования возможности увеличения дальности стрельбы активно-реактивного снаряда за счет оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик, времени включения, продолжительности работы и тяги двигателя, аэродинамической формы снаряда и повышения устойчивости его движения (анализ результатов исследования);* * *результаты исследования собместного воздействия осколочного поля и ударной волны на объект поражения при подрыве осколочно-фугасного снаряда на траектории, в зависимости от высоты подрыва и расстояния до цели, в пространственной постановке (анализ результатов исследования);* * *результаты исследования повышения точности стрельбы за счет применения интеллектуальных автономных алгоритмов корректировки траектории движения активно-реактивного снаряда при наведении на цель (анализ результатов исследования).*   *По итогам выполнения 3 этапа проекта планируются:*   * *доклады на конференциях (не менее 5);* * *публикации в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science или Scopus (не менее 3);* * *публикации в изданиях, индексируемых в RSCI (не менее 2);* * *публикации в изданиях, индексируемых в иных иностранных базах данных (не менее 2);* * *оформление заявок на государственную регистрацию программ для ЭВМ (не менее 2);* * *публикация монографии.* |
|  |

**4.7. Имеющийся у научного коллектива научный задел по проекту, наличие опыта совместной реализации проектов***(указываются полученные ранее результаты, разработанные программы и методы)*

|  |
| --- |
| В настоящее время научным коллективом в рамках реализации ряда проектов в тесном сотрудничестве с одним из испытательных полигонов были созданы базовые версии пакетов программ математического моделирования физических процессов артиллерийского выстрела, включая внутреннюю, внешнюю и конечную баллистику:   1. Созданы и реализованы в виде программного комплекса нульмерная, одномерная и осесимметричная физико-математические модели процесса артиллерийского выстрела различных конструкций заряда, состоящих из трубчатых и зерненых пороховых элементов. 2. Создана математическая модель и проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния и колебания ствола артиллерийского орудия под динамическим воздействием давления и температуры пороховых газов. Решена задача динамического нагружения ствола давлением пороховых газов, рассчитанным из решения внутрибаллистической задачи в одномерной постановке, получены зависимости, отражающие изменение напряжения, деформации и температуры ствола во времени, определены наиболее опасные участки ствола и углы вылета снаряда с учетом колебания ствола при выстреле. 3. Создана и реализована математическая модель движения снаряда по внешнебаллистической траектории на основе решения дифференциальных уравнений движения центра масс и колебаний относительно центра масс. На основе численного моделирования обтекания твердых тел потоком газа в ANSYS Fluent и ЛОГОС Аэрогидромеханика разработана параметрическая методика расчета коэффициентов аэродинамических сил и моментов, действующих на различные типы снарядов, в зависимости от угла атаки, числа Маха и скорости вращения. 4. Создан программно-вычислительный комплекс конфигурации и визуализации полигонных испытаний, позволяющий создавать новые элементы моделирования трехмерных объектов, конфигурировать карты местности, размещать элементы инфраструктуры, предназначенный для анализа, оптимизации, принятия управленческих решений на основе обработки информации по результатам моделирования процесса артиллерийского выстрела. В программно-вычислительном комплексе реализована система сопоставления данных натурных испытаний и вычислительных экспериментов, включающая текстовое сравнение параметров, сравнение графиков различных параметров выстрела, построение трехмерных кривых траектории движения снаряда и построение полей распределения параметров. 5. Создана структура данных для проведения вычислительных экспериментов. Определена совокупность параметров, необходимых для решения задач внутренней, внешней и конечной баллистики. Решены задачи согласования форматов передачи данных между компонентами программного комплекса и внешними программами. 6. Создан программно-вычислительный комплекс: “Визуализация и моделирование полигонных стрельбовых испытаний ракетно-артиллерийского вооружения” при выполнении ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» составной части ОКР ФЦП в рамках контракта между ФКП «НИИ «Геодезия» и Министерством промышленности и торговли Российской Федерации.   **По результатам проведенных исследований получены свидетельства о государственной регистрации следующих программ расчета:**  **Внутренняя баллистика:**   1. Программа расчета внутренней баллистики выстрела для зерненого заряда в газодинамической постановке. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014661855 от 18.11.2014 г. Авторы Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Ермолаев М.А.; 2. Программа расчета внутренней баллистики выстрела для трубчатого заряда в газодинамической постановке. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661546 от 29.10.2015 г. Авторы Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Ермолаев М.А.; 3. Программа расчета внутренней баллистики выстрела для комбинированного заряда в газодинамической постановке. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016619601 от 24.09.2016 г. Авторы Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Ермолаев М.А.; 4. Программа для решения задачи Лагранжа с учетом противодавления. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662838 от 20.10.2020 г. Авторы Русяк И.Г., Дряхлов Р.Р., Нефедов Д.Г.; 5. Программа для решения баллистической задачи Лагранжа в осесимметричной постановке. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020666207 от 04.12.2020 г. Авторы Тененев В.А., Русяк И.Г., Нефедов Д.Г.; 6. Программа для численного расчета внутренней баллистики для трубчатого заряда в пространственной осесимметричной постановке. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611840 от 02.02.2022 г. Авторы Тененев В.А., Русяк И.Г., Нефедов Д.Г., Клюкин Д.А.   **Внешняя баллистика:**   1. Расчет траектории движения снарядов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014661471 от 30.10.2014 г. Авторы Русяк И.Г., Карпов А.И., Королев С.А. и др.; 2. Программа для расчета углов наведения орудия при стрельбе по неподвижной и движущимся целям. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661545 от 29.10.2015 г. Авторы Русяк И.Г., Тененев В.А., Карпов А.И., Королев С.А., Нефедов Д.Г.; 3. Программа для расчета параметров рассеивания снарядов и определения зоны безопасности при стрельбе. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016619602 от 24.09.2016 г. Авторы Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Нефедов Д.Г.   **Напряженно-деформированное состояние ствола артиллерийского орудия:**   1. Программа для расчета продольно-поперечных колебаний ствола артиллерийского орудия. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661754 от 31.05.2021 г. Авторы Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Клюкин Д.А., Нефедов Д.Г. 2. Программа для расчета теплового и напряженно-деформированного состояния ствола при выстреле. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661192 от 16.06.2022 г. Авторы Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Нефедов Д.Г., Клюкин Д.А.   **Распространение волн давления:**   1. Программа для численного расчета параметров распространения волн давления в ударной трубе в осесимметричной постановке. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662682 от 03.08.2021 г. Авторы Тененев В.А., Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Клюкин Д.А., Нефедов Д.Г.   **Опубликована монография:**   1. Липанов А.М., Русяк И.Г., Тененев В.А., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Белобородов М.Н. Численное моделирование артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий для проектирования и отработки артиллерийских систем: монография. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2023. – 416 с.   По теме проекта за последние 5 лет научным коллективом **опубликовано 40** статей, сделано 12 докладов на научных конференциях российского и международного уровня.  В 2020 году руководителем научного коллектива Королевым С.А. **защищена** докторская диссертация на тему: “Развитие подходов к решению проблем аэродинамики и устойчивости движения снарядов и неуправляемых ракет на основе математического моделирования”.  **Членами коллектива совместно выполнены следующие научные проекты.**   1. РФФИ, № 13-01-00691, тема «Исследование механизмов возникновения аномальных физических явлений, сопровождающих процесс артиллерийского выстрела», номер государственной регистрации 01201358987, 2014 г. (рук. Липанов А.М., отв. исп. Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А.). 2. Государственное задание №1.1481.2014/К (Минобрнауки РФ), тема «Численное моделирование пространственных нестационарных турбулентных течений гетерогенных реагирующих сред, нестационарного турбулентного обтекания тел сложной формы при больших числах Маха и механики процессов соударения и разрушения при взаимодействии метаемого тела с преградой применительно к процессу артиллерийского выстрела», номер государственной регистрации 114072170012, 2014-2016 гг. (рук. Липанов А.М., отв. исп. Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Тененев В.А., Нефедов Д.Г.). 3. ФКП «НИИ «Геодезия», СЧ ОКР № 256.3145.К14, тема «Разработка программного обеспечения виртуальной имитационной модели артиллерийского выстрела на основе компьютерных технологий математического моделирования внутрикамерных процессов и движения снаряда на внешнебаллистической траектории, включая особенности взаимодействия боеприпаса с объектом поражения» (шифр «Модельер 1»), 2014 г. (рук. Липанов А.М., отв. исп. Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Тененев В.А., Нефедов Д.Г.). 4. ФКП «НИИ «Геодезия», СЧ ОКР № 256.3913.Н-45Б.К15, тема «Моделирование разлета осколков и повышение точности определения зон поражения при срабатывании артиллерийского снаряда с учетом рассеивания характеристик», 2015 г. (рук. Липанов А.М., отв. исп. Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Тененев В.А., Нефедов Д.Г.). 5. ФКП «НИИ «Геодезия», СЧ ОКР 256.4087.Н-43Б.К15, тема «Разработка элементов информационно-аналитической подсистемы ПАК РАВПН, в том числе программного обеспечения расчета параметров обтекания воздушными потоками боеприпасов и летательных аппаратов, визуализации процессов функционирования боеприпасов» (шифр «Ориентация»), 2015-2017 гг. (рук. Липанов А.М., отв. исп. Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Тененев В.А., Нефедов Д.Г.). 6. ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», № ГР ПСР/М2/Н2.1/ЛАМ, ПСР/М2/Н2.2/ЛАМ, тема «Разработка программного обеспечения виртуальной имитационной модели артиллерийского выстрела на основе компьютерных технологий математического моделирования внутрикамерных процессов и движения снаряда на внешнебаллистической траектории, включая особенности взаимодействия боеприпаса с объектом поражения», 2014 г. (рук. Липанов А.М., отв. исп. Русяк И.Г., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Тененев В.А., Нефедов Д.Г.). 7. АО «НЦВ Миль и Камов», НИР, тема «Теоретические и прикладные исследования повышения точности применения неуправляемых авиационных средств поражения за счёт учета в прицельных системах возмущающего действия струи несущего винта вертолёта» (шифр «Вихрь»), 2020 г. (рук. Липанов А.М., Русяк И.Г., исп. Королев С.А., Суфиянов В.Г., Тененев В.А., Нефедов Д.Г.). 8. Грант РФФИ, № 20-01-00072, тема «Разработка математических моделей и численных методов решения пространственных сопряженных нестационарных задач газовой динамики и механики многофазных реагирующих деформируемых гетерогенных сред в условиях выстрела», 2020-2022 гг. (рук. Русяк И.Г., отв. исп. Тененев В.А., Суфиянов В.Г., Королев С.А., Нефедов Д.Г., Клюкин Д.А., Мансуров Р.Р.). 9. АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», НИР, тема «Математическое моделирование поведения специально подготовленных образцов с покрытиями в имитационных испытаниях. Расчетно-теоретическое обоснование выбора геометрии и условий испытаний», 2021 г. (рук. Липанов А.М., Русяк И.Г., отв. исп. Королев С.А., исп. Тененев В.А., Суфиянов В.Г., Нефедов Д.Г., Клюкин Д.А.). 10. ФКП «НИО «ГБИП России», СЧ НИР, тема «Разработка программного обеспечения «Виртуальное приборное поле» (шифр «Метрология»), 2021-2022 гг. (рук. Липанов А.М., Русяк И.Г., отв. исп. Суфиянов В.Г., исп. Тененев В.А., Королев С.А., Нефедов Д.Г., Клюкин Д.А.). 11. ООО «НПО «Дельта», НИР, тема «Разработка математического, алгоритмического и программного обеспечения системы наведения и корректировки стрельбы самонаводящейся метаемой установки в составе интеллектуальной системы управления стрельбой», 2022 г. (рук. Русяк И.Г., исп. Королев С.А., Нефедов Д.Г.). |

введите информацию:

**4.8**

**Перечень оборудования, материалов, информационных и других ресурсов, имеющихся у научного коллектива для выполнения проекта***(в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)*

|  |
| --- |
| 1. Сервер (1 шт.):   * процессор 2x OctalCore Intel Xeon E5-2650 v2 2600 MHz (2 процессора, 16 ядер, 32 потока), * видеокарта NVIDIA GeForce GTX 780 Ti (3ГБ), * оперативная память 96 ГБ DDR3 SDRAM 1600 МГц, * материнская плата Supermicro X9DR3-F, * накопитель 1) жесткий диск 4 ТБ 7200 RPM SATA-III, 2) SSD 500 ГБ, * монитор 21.5" LCD (FullHD), * ОС MS Windows Server 2012 R2 Standard.   Проведение промежуточных тестовых вычислений. Отладка численных методов математического моделирования процессов внешней баллистики и алгоритмов распараллеливания расчетов.  2. Сервер (1 шт.):   * процессор 2x OctalCore Intel Xeon E5-2640 v2 2000 MHz (2 процессора, 12 ядер, 24 потока), * видеокарта 1) NVIDIA Tesla K20m (5ГБ), 2) NVIDIA Quadro K2000 (2ГБ), * оперативная память 64 ГБ DDR3 SDRAM 1600 МГц, * материнская плата Supermicro X9DR3-F, * накопитель 1) жесткий диск 2 ТБ 7200 RPM SATA-III, SSD 500 ГБ, * монитор 21.5" LCD (FullHD), * ОС MS Windows 10 Professional.   Проведение промежуточных тестовых вычислений. Отладка численных методов математического моделирования процессов внешней баллистики и алгоритмов распараллеливания расчетов с использованием GPU-ускорителей.  3. Рабочий компьютер (3 шт.):   * процессор Intel Core i7-4770K 3500 MHz (4 ядра, 8 потоков), * видеокарта NVIDIA GeForce GTX 770 (2ГБ), * оперативная память 32 ГБ DDR3 SDRAM 1600 МГц, * материнская плата ASUS Z87-Deluxe/Dual, * накопитель 1) жесткий диск 1 ТБ 7200 RPM SATA-III, 2) SSD 500 ГБ, * монитор 21.5" LCD (FullHD), * ОС MS Windows 10 Pro.   Разработка программно-вычислительных комплексов «Компьютерное моделирование и численное решение задач внешней баллистики артиллерийского выстрела и визуализация физических процессов», «Интеллектуальная автономная система корректировки траектории движения снарядов при наведении на цель». Проведение тестовых вычислений. Разработка и заполнение базы данных трехмерных геометрических моделей и характеристик снарядов, артиллерийских систем.  5. Программное обеспечение ANSYS 15.0. Лицензия № 607281 от 30.09.2014, бессрочная.  Проведение тестовых аэродинамических расчетов. Сравнение расчетов с результатами математического моделирования (где это возможно), полученными с использованием разрабатываемого пакета прикладных программ. Верификация численных методов и алгоритмов решения задач.  6. Программное обеспечение ЛОГОС 5.0. Лицензия № 7063-0-96/2019.  Проведение аэродинамических расчетов. Сравнение расчетов с результатами математического моделирования (где это возможно), полученными с использованием разрабатываемого пакета прикладных программ, с целью возможного дополнения функциональных возможностей ПО ЛОГОС для решения пространственных нестационарных аэродинамических задач. |

введите информацию:

**4.9. План работы на первый год выполнения проекта***(в том числе указываются запланированные командировки (экспедиции) по проекту)*

|  |
| --- |
| *“Создание комплекса математических моделей нестационарных физических процессов, сопровождающих артиллерийский выстрел”.*   1. *Создание математической модели нестационарных процессов внутренней баллистики артиллерийского выстрела, учитывающей пространственную компоновку заряда, движение различных компонентов заряда и напряженно-деформированные состояния снарядов и ствола артиллерийского орудия в условиях теплового воздействия и нагружения давлением пороховых газов в процессе артиллерийского выстрела.* 2. *Постановка задачи и разработка алгоритма структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда с целью повышения начальной скорости осколочно-фугасного и активно реактивного снарядов.* 3. *Создание математической модели пространственной нестационарной задачи внешней баллистики с учетом аэродинамического обтекания и устойчивости движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределении массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете.* 4. *Создание математической модели оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов с целью повышения дальности и точности стрельбы.* 5. *Построение пространственной математической модели формирования спектра осколков при детонации заряда и разрушении оболочки снаряда.* 6. *Создание имитационной модели разлета осколков для оценки эффективности действия боеприпаса.* 7. *Создание математической модели интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель.* 8. *Исследования влияния колебаний ствола на траекторию движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов после их выхода из канала ствола.* 9. *Исследование возможности увеличения начальной скорости осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов за счет структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда.* 10. *Исследование возможности формирования осколочного поля поражения, адаптированного под характер объекта поражения, за счет различной ориентации снарядов при подходе к цели с учетом рельефа местности и высоты подрыва.*   *Для участия в семинарах, конференциях по обсуждению результатов работы по проекту запланированы командировки в гг. Саров, Томск, Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Нижний Тагил.* |

**4.10. Планируемое на первый год содержание работы каждого члена научного коллектива***(включая руководителя проекта)*

|  |
| --- |
| *1. Русяк И.Г.*   * *создание математической модели нестационарных процессов внутренней баллистики артиллерийского выстрела, учитывающей пространственную компоновку заряда, движение различных компонентов заряда и напряженно-деформированные состояния снарядов и ствола артиллерийского орудия в условиях теплового воздействия и нагружения давлением пороховых газов в процессе артиллерийского выстрела;* * *исследования возможности увеличения начальной скорости осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов за счет структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда;* * *исследование влияния колебаний ствола на траекторию движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов после их выхода из канала ствола.*   *2. Тененев В.А.*   * *постановка задачи и разработка алгоритма структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда с целью повышения начальной скорости осколочно-фугасного и активно реактивного снарядов;* * *создание математической модели пространственной нестационарной задачи внешней баллистики с учетом аэродинамического обтекания и устойчивости движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределении массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете.*   *3. Суфиянов В.Г.*   * *создание пространственной математической модели формирования спектра осколков при детонации заряда и разрушении оболочки снаряда;* * *создание имитационной модели разлета осколков для оценки эффективности действия боеприпаса;* * *исследование возможности формирования осколочного поля поражения, адаптированного под характер объекта поражения, за счет различной ориентации снарядов при подходе к цели с учетом рельефа местности и высоты подрыва.*   *4. Королев С.А.*   * *создание математической модели оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов с целью повышения дальности и точности стрельбы;* * *создание математической модели интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель.* |

введите информацию:

**4.11. Ожидаемые в конце первого года конкретные научные результаты***(форма изложения должна дать возможность провести экспертизу результатов и оценить степень выполнения заявленного в проекте плана работы)*

|  |
| --- |
| 1. *Математическая модель нестационарных процессов внутренней баллистики артиллерийского выстрела, учитывающая пространственную компоновку заряда, движение различных компонентов заряда и напряженно-деформированные состояния снарядов и ствола артиллерийского орудия в условиях теплового воздействия и нагружения давлением пороховых газов в процессе артиллерийского выстрела (математическая модель и постановка задачи).* 2. *Постановка задачи и разработка алгоритма структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда с целью повышения начальной скорости осколочно-фугасного и активно реактивного снарядов (математическая модель и постановка задачи).* 3. *Математическая модель пространственной нестационарной задачи внешней баллистики с учетом аэродинамического обтекания и устойчивости движения на траектории при возникновении асимметрии формы и перераспределении массы внутри осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов в полете (математическая модель и постановка задачи).* 4. *Математическая модель оптимизации баллистических условий стрельбы, весовых характеристик и аэродинамической формы осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов с целью повышения дальности и точности стрельбы (математическая модель и постановка задачи).* 5. *Пространственная математическая модель формирования спектра осколков при детонации заряда и разрушении оболочки снаряда (математическая модель и постановка задачи).* 6. *Имитационная модель разлета осколков для оценки эффективности действия боеприпаса (математическая модель и постановка задачи).* 7. *Математическая модель интеллектуальной автономной системы корректировки траектории движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов при наведении на цель (математическая модель и постановка задачи).* 8. *Базы данных трехмерных геометрических моделей и характеристик пороховых элементов, зарядов, осколочно-фугасных и активно-реактивных снарядов, артиллерийских стволов и свойств материалов (структура и наполнение баз данных).* 9. *Результаты исследования влияния колебаний ствола на траекторию движения осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов после их выхода из канала ствола (анализ результатов исследований).* 10. *Результаты исследования возможности увеличения начальной скорости осколочно-фугасного и активно-реактивного снарядов за счет структурно-параметрической оптимизации конструкции заряда (анализ результатов исследований).* 11. *Результаты исследования возможности формирования осколочного поля поражения, адаптированного под характер объекта поражения, за счет различной ориентации снарядов при подходе к цели с учетом рельефа местности и высоты подрыва (анализ результатов исследований).*   *По итогам выполнения 1 этапа проекта планируются:*   * *доклады на конференциях (не менее 5);* * *публикации в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science или Scopus (не менее 2);* * *публикации в изданиях, индексируемых в RSCI (не менее 2);* * *публикации в изданиях, индексируемых в иных иностранных базах данных (не менее 1);* * *оформление заявок на государственную регистрацию программ для ЭВМ (не менее 1);* * *защита кандидатской диссертации аспирантом Клюкиным Д.А.* |

* 1. **Перечень планируемых к приобретению за счет гранта оборудования, материалов, информационных и других ресурсов для выполнения проекта***(в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)*

|  |
| --- |
| Ноутбук (стоимость 100 тыс. руб.).  Планируется использовать для работы в служебных командировках. |

введите информацию:

Файл с дополнительной информацией 1  
С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. В формате pdf, до 3 Мб.

Текст в файлах с дополнительной информацией должен приводиться на русском языке. Перевод на английский язык требуется в том случае, если заявитель оценивает данную информацию существенной для эксперта.

---

Файл 1

Файл с дополнительной информацией 2 *(если информации, приведенной в файле 1 окажется недостаточно)*  
С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. В формате pdf, до 3 Мб.

---

Файл 2

Форма 5. Запрашиваемое финансирование на 2023 год

**5.1. Планируемые расходы по проекту**

| **№  п.п.** | **Направления расходования средств гранта** | **Сумма расходов (тыс. руб.)** |
| --- | --- | --- |
|  | **ВСЕГО** | 1 500 |
|  | Вознаграждение членов научного коллектива (с учетом страховых взносов и налогов (при наличии), без лиц категории «вспомогательный персонал») | 1 100 |
|  | Вознаграждение лиц категории «вспомогательный персонал» (с учетом страховых взносов и налогов (при наличии)) | 0 |
| 1 | Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов и налогов (при наличии)) | 1 100 |
| 2 | Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта  (не более 15% от суммы гранта) | 0 |
| 3 | Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (включая обучение работников, монтажные, пуско-наладочные и ремонтные\*\*\* работы)  \*\*\* Не связанные с осуществлением текущей деятельности организации. | 100 |
| 4 | Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования | 0 |
| 5 | Иные расходы для целей выполнения проекта | 150 |
| 6 | Накладные расходы организации (не более 10 % от суммы гранта) | 150 |

**5.2. Расшифровка планируемых расходов**

|  |  |
| --- | --- |
| **№  п.п.** | **Направления расходования средств гранта, расшифровка** |
| 1 | Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды) (указывается сумма вознаграждения (включая руководителя, основных исполнителей и иных исполнителей, привлекаемых к выполнению работ по проекту), включая установленные законодательством Российской Федерации гарантии, отчисления по страховым взносам на обязательное пенсионное страхование, на обязательное медицинское страхование, на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством, на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний)   |  | | --- | | Королев Станислав Анатольевич 350 тыс. руб.  Нефедов Денис Геннадьевич 300 тыс. руб.  Мансуров Рустам Ренатович 300 тыс. руб.  Федоров Анатолий Иванович 150 тыс. руб. |   укажите суммы вознаграждения руководителя и всех исполнителей: |
| 2 | Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта (приводится перечень планируемых договоров (счетов) со сторонними организациями с указанием предмета и суммы каждого договора)   |  | | --- | | Не планируется | |
| 3 | Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (представляется перечень планируемых к закупке оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (в соответствии с п. 4.12 формы 4))   |  | | --- | | Ноутбук – 100 тыс. руб. | |
| 4 | Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования (представляется расшифровка запланированных материалов и комплектующих (в соответствии с п. 4.12 формы 4))   |  | | --- | | Не планируется | |
| 5 | Иные расходы для целей выполнения проекта (приводятся иные затраты на цели выполнения проекта, в том числе на командировки, оплату услуг связи, транспортных услуг, расходы не расшифровываются)   |  | | --- | | Командировки – 150 тыс. руб. | |