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

|  |
| --- |
| Внутренняя баллистика РДТТ  Ракетные двигатели – это реактивные двигатели прямой реакции, предназначенные для летательных аппаратов, на борту которых размещены запасы энергии и рабочее тело. Основная их особенность – для создания реактивной силы они не используют окружающую среду и источники энергии, находящиеся вне летательного аппарата. Однако окружающая среда оказывает влияние на выходную количественную характеристику ракетного двигателя – тягу. Назначение камеры ракетного двигателя – преобразование энергии топлива в кинетическую энергию струи для создания реактивной силы. Необходимое для получения струи ускорение выбрасываемого вещества можно получать посредством различных воздействий на поток: геометрического, расходного, теплового, механического. В ракетном двигателе используют геометрическое воздействие – струя истекающих газов формируется в сопловой, сначала сужающейся, а затем расширяющейся части камеры (сопло Лаваля). Скорость текущих вдоль сопла газов постепенно нарастает, а давление соответственно падает.  Под основной задачей внутренней баллистики РДТТ понимают расчет изменения давления в камере сгорания в функции времени при различных параметрах заряжания. В свою очередь, зависимость определяет изменение во времени тяговых параметров двигателя и ускорения ракеты. Частной задачей внутренней баллистики является определение величины максимального давления в двигателе, необходимой для расчета его на прочность. В становлении и развитии внутренней баллистики РДТТ можно выделить следующие этапы: разработка эмпирических методов определения максимального давления в РД; попытки решения основной задачи внутренней баллистики РДТТ на основе закона горения артиллерийских порохов; частичное решение ОЗВБ РДТТ для квазистационарных режимов его работы; полное решение ОЗВБ РДТТ с включением нестационарных режимов его работы.  Исследование этой является научным интересом во многих странах, Сербия [1], Италия [2] и т.д., в России вопросом изучения внутренней баллистики РДТТ занимаются в Удмуртском Федеральном исследовательском центре УРО РАН [3], в частности академиком РАН Липановым А.М [4], ФГУП «ФЦДТ «Союз» [5], Национальный исследовательский Томский государственный университет [6]. исследования так же проводятся в ИжГТУ им. М.Т. Калашникова [7].  В настоящее время существуют программы для расчёта характеристик таких двигателей. Наиболее популярная — «SRM» авторства Ричарда Накки (США), существует и русскоязычная версия — Rocki-motor – русский аналог программы SRM  *Активно-реактивный принцип метания*  *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 [8, 9], в том числе от времени срабатывания двигателя на траектории [10].*  *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 [11]. 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[12], где дальность 152мм снаряда увеличилась до 80 км за счёт реактивного двигателя, газогенератора и аэродинамических рулей*  *Исследования активно-реактивного принципа метания[13] проводятся в БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, 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» [14]. Новосибирский государственный технический университет так же проводит ислледования в этой области. [15]. Также исследования проводятся в других странах: ЮАР[16], Швеция[17] и т.д.*  *Импульсная коррекция траектории*  *При повышении дальности стрельбы увеличивается зона рассеивания снарядов. С целью уменьшения рассеивания применяются системы коррекции траектории, основанные на различных принципах. Боеприпасы с импульсной коррекцией («Смельчак» и «Сантиметр») работают на основе RCIC[18] (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» [19] и четыре у «Сантиметра» [20]. 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» [21] 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 американской концепция аэродинамического управления 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.*  *Исследованием применения «Российской концепции импульсной коррекции» для повышения точности ракетного и артиллерийского оружия занимаются в МГТУ им. Н.Э. Баумана (В.Н. Зубов) [22].*  *Американская концепция аэродинамического управления (ACAG-технология) предусматривает управление снарядом на всей траектории (программное планирование, а затем полуактивное самонаведение при лазерном подсвете в течение 15 сек.), представлена 155-мм управляемым артиллерийским снарядом (УАС) «Копперхед» и др.*  *По технологическим, эксплуатационным и тактическим свойствам, а также по критерию «эффективность–стоимость» массированное применение КАС предпочтительнее УАС, т.е. RCIC-технология имеет преимущества перед ACAG-технологией.*  *Из информированных источников стало известно, что при стрельбовых испытаниях после истечения 10-летнего гарантийного срока хранения надежность УАС – на уровне 50%.*  *При реализации АСАG-технологии требования по максимальной дальности стрельбы (20-22 км) могут быть выполнены только при использовании режима планирования. Если в УАС типа «Копперхед» отсутствует, например, бортовое электропитание (отказ бортового источника тока, обрыв кабеля и т.п.), то недолет составит 10–12 км, а отказ других компонентов – гироскопа, приводов и др. – может приводить к значительным отклонениям также и по направлению.*  Литература   1. Mvuisi Humphrey Tshokotsha, Internal Ballistic Modelling of Solid Rocket Motors Using Level Set Methods for Simulating Grain Burnback, Serbia, Stellenbosch University, 125 p. 2. Modeling and Numerical Simulation of Solid Rocket Motors Internal Ballistics, Ing Enrico Cavallini, degree of doctor of Philosophy, Sapienza Universita di Roma, 203 p. 3. Твердые топлива реактивных двигателей / В. Н. Аликин, А. В. Вахрушев, В. Б. Голубчиков [и др.]. Том IV. – Москва: Научно-техническое издательство "Машиностроение", 2011. – 377 с. 4. Патент № 2741687 C2 Российская Федерация, МПК F02K 9/96. Способ измерения скорости горения твердых ракетных топлив и скорости сублимации полимерных покрытий при обдуве высокотемпературным газом и устройство для его осуществления: № 2019118144: заявл. 10.06.2019: опубл. 28.01.2021 / Л. Н. Колесникова, А. Ю. Лещев, А. М. Липанов; 5. Совершенствование метода прогнозирования внутрибаллистических параметров РДТТ / Ю. М. Милехин, С. А. Гусев, В. Н. Эйхенвальд, Н. П. Гордиенко // Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и ствольных системах (icoc'2014), Москва, 24–26 сентября 2014 года. – Москва: Институт механики Уральского отделения РАН, 2014. – С. 237-239. 6. Кирюшкин, А. Е. Численный алгоритм решения задачи внутренней баллистики РДТТ с учетом подвижной поверхности горящего топлива / А. Е. Кирюшкин, Л. Л. Миньков // Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и ствольных системах (ICOC'2017): Сборник трудов Девятой Всероссийской конференции, Москва, 10–12 октября 2017 года. – Москва: Институт механики Уральского отделения РАН, 2017. – С. 92-106. 7. Внутренняя баллистика РДТТ / А. В. Алиев, Г. Н. Амарантов, В. Ф. Ахмадеев [и др.]. – Москва: Научно-техническое издательство "Машиностроение", 2007. – 504 с. 8. Мищенкова О.В. Выбор параметров твердотопливного двигателя при оптимизации траектории полета ракеты // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. №3(71). 2016. С. 74-77. 9. 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. 10. 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. 11. Новый рекорд дальности стрельбы ствольной артиллерии // Военное обозрение – URL: https://topwar.ru/164952.html (дата обращения 31.10.2022) 12. Розанов, Л. А. Концепция 152-мм дальнобойного управляемого артиллерийского снаряда (ДУАС) / Л. А. Розанов, В. Е. Смирнов // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. – 2015. – № 1(6). – С. 83-95. 13. Кэрт, Б. Э. Расчет баллистического функционирования кассетного снаряда повышенной дальности с устройством доразгона на траектории / Б. Э. Кэрт, А. В. Панченко // Наука Промышленность Оборона: Труды XX Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения с. А. Чаплыгина: в 4 томах, Новосибирск, 17–19 апреля 2019 года / Редактор С.Д. Саленко. Том 2. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. – С. 152-156. 14. Розанов, Л. А. Сравнительный анализ методик расчета характеристик рассеивания активно-реактивного снаряда / Л. А. Розанов, А. В. Фомичев, В. Е. Смирнов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2018. – № 3(103). – С. 103-109. 15. Способы увеличения дальности боевого применения снарядов / Е. Я. Брагунцов, И. И. Жаровцев, В. И. Звегинцев, А. А. Нестерова // Наука Промышленность Оборона: Труды XXII Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 60-летию со дня первого полёта человека в космос. В 4-х томах, Новосибирск, 21–23 апреля 2021 года / Под редакцией С.Д. Саленко. Том 2. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2021. – С. 176-182. 16. Computing the Trajectory of an artillery shell using six degrees of freedom model 17. Development and evalition of a six degrees of freedom model of a 155 mm artillery projectile, Marcus Thuresson, Royal Institute of Technology, P – 56, 2015 18. Зубов, В. Н. Системы высокоточного оружия / В. Н. Зубов, Д. В. Лугин. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2007. – 56 с. 19. 240-мм корректируемая артиллерийская мина комплекса «Смельчак» // Энциклопедия XXI век. Оружие и технологии России. Часть 2. Ракетно-артиллерийское вооружение сухопутных войск. Группа 12. Средства управления войсками. Класс 1230. Системы (комплексы) управления оружием (огнём). — М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2006. — Т. Том 12. — С. 178—179, 182—183. — 848 с. 20. Зубов В. Отечественные корректируемые мины и снаряды (рус.) // Оружие: журнал. — 2016. — № 04. — С. 52-63. 21. Тихонов С. Г. Оборонные предприятия СССР и России: в 2 т. — М.: ТОМ, 2010. — Т. 1. — 608 с. 22. Зубов, В. Н. Применение "российской концепции импульсной коррекции" для повышения точности ракетного и артиллерийского оружия / В. Н. Зубов // Инновационная наука. – 2016. – № 4-3. – С. 107-110. |
| ФГУП «Государственное научно-производственное предприятие «Сплав» представлена математическая модель и результаты расетов параметров внутренней баллистики РДТТ, подверженного действию перегрузок.  ТОМСК - Кирюшкин, А. Е. Численное решение двумерных уравнений газовой динамики с подвижными границами на неподвижной вычислительной сетке на примере задач внутренней баллистики РДТТ / А. Е. Кирюшкин, Л. Л. Миньков // Все грани математики и механики: Сборник статей, Томск, 25–28 апреля 2017 года / Редактор: А.В. Старченко. – Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2017. – С. 168-176. |