

Сведения о выполненных работах  
в период с 01.07.2019 г. по 30.06.2020 г.

по проекту **«Исследование горения высокоплотных топлив  
в условиях высоких динамических давлений»**,  
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 19-79-00028

Руководитель: канд. физ.-мат. наук Рогаев Константин Сергеевич

Для решения основной задачи, поставленной в проекте в период 2019-2020 года, согласно плану работ научного исследования, осуществлялись работы по следующим направлениям.

Проведена модернизация лабораторного баллистического стенда, позволяющая исследовать внутрибаллистические характеристики выстрела при использовании классической схемы заряжания и схемы с присоединенным зарядом. Экспериментальные внутрибаллистические исследования проводились на баллистическом стенде НИИ ПММ ТГУ, в состав которого входит модульная модельная баллистическая установка. В состав баллистической установки входит вакуумируемая баллистическая трасса с пулеприемником, в котором располагается требуемый набор преград. При исследовании использовался ствол калибром 30 мм, позволяющий ускорять поршень снаряд массой 50 г до скоростей превышающих 1000 м/с. В состав баллистического стенда входит измерительно-регистрирующий комплекс, который во время проведения баллистических испытаний позволяет регистрировать изменение давления в камере заряжания, максимальное давление на дно канала ствола, временную зависимость скорости снаряда в стволе и дульную скорость снаряда. Для обеспечения отказоустойчивости лабораторного баллистического стенда предусмотрена дублирующая ветка регистрации основных баллистических характеристик, состоящая из осциллографов. Разработаны конструктивно-компоновочные схемы метаемых сборок. В качестве снаряда использовался поршень массой 50 г, изготовленный из текстолита и запрессованной в него стальной метки. В качестве присоединенного заряда (ПЗ) использовалось высокоплотное топливо, размещенное в пластиковом контейнере, изготовленного методом послойного наплавления SBS пластика. Для определения начала горения присоединенного заряда, состоящего из высокоплотного топлива, были разработаны имитаторы, используемые в качестве массогабаритного аналога ПЗ (ИПЗ). ИПЗ изготавливался из полиэтилена, в котором с каждого из торцов запрессовывалась металлическая шайба, при этом масса и длина были равны ПЗ из высокоплотного топлива.

Разработаны математические модели и численная методика расчета внутрибаллистических процессов при выстреле в условиях модельной баллистической установки. Математические модели, базируются на основных допущениях механики многофазных сред. В качестве численной методики расчета используется модифицированный метод С.К. Годунова, позволивший повысить

порядок аппроксимации по пространственной координате до второго и второго по времени. С использованием разработанной модели определены типы высокоэнергетических порохов и проведена оценка достижимого диапазона скоростей для метания разработанных компоновок с использованием 30 мм баллистической установки. В рамках корректировки математической модели проведено уточнение коэффициентов в законе послойного горения порохового метательного заряда с учетом проведенных тестовых экспериментов при использовании классической схемы заряжания. Расхождение расчетных и экспериментальных данных после проведения корректировки по максимальному давлению не превышает 3 %, по дульной скорости снаряда – 1 %. Разработана и усовершенствована математическая модель для получения законов диспергирования и горения высокоплотных топлив в условиях модельной баллистической установки. В программном комплексе существует возможность добавления моноблочных элементов (в данном случае высокоплотных топлив), которые диспергируют на отдельные частицы дополнительной фракции и горят по своим законам. При этом в программном комплексе предусмотрено два варианта: при расположении моноблоков в камере заряжания (комбинированная схема заряжания); при расположении моноблочного заряда в стволе за снарядом (схема заряжания с ПЗ). Разработанная модель поведения высокоплотных топлив в условиях комбинированного выстрела позволила провести оценочные расчеты о перспективности использования данных топлив в выстреле гильзового заряжания. Разработана модель поведения топлива при использовании высокоплотных топлив в качестве присоединенного заряда, позволяющая моделировать выстрел из ствольных систем, использующих данную схему заряжания. Проведено экспериментально-теоретическое исследование горения топлива в условиях модельной баллистической установки. Экспериментальным образом в условиях модельной баллистической установки получено увеличение скорости снаряда на дульном срезе на (4.9÷12.7) % в сравнении с классической схемой заряжания, при сохранении максимального давления на дно канала ствола, за счет включения в состав метательного заряда высокоплотных топлив в виде ПЗ.

С применением разработанной математической модели и экспериментальных данных получены основные коэффициенты в законах горения и диспергирования высокоплотного топлива используемого в качестве ПЗ. Проведена оценка предельных возможностей модельной баллистической установки калибром 30 мм за счет использования новых высокоплотных топлив с увеличенными энергетическими характеристиками, при сохранении максимального давления.

В результате выполнения проекта достигнуты следующие научные результаты:

1. Разработана экспериментальная методика исследования диспергирования и горения высокоплотных топлив, используемых в качестве ПЗ в условиях динамических давлений реализуемых при выстреле в модельной баллистической установке калибром 30 мм. Разработаны новые конструктивно-компоновочные схемы метаемых элементов используемых в качестве метаемых элементов, имитаторов ПЗ позволяющие определить необходимые навески метательных зарядов, а также контейнеры для обеспечения торцевого горения высокоплотных топлив.

2. На основе разработанной математической модели и численной методики расчета внутрибаллистических процессов при использовании классической схемы заряжания были получены газодинамические картины выстрелов, позволившие определить необходимые навески порохового заряда для достижения требуемых основных баллистических параметров.

3. На основе разработанных математических моделей поведения высокоплотных топлив при использовании данных топлив в перспективных схемах заряжания были проведены оценочные расчеты по модернизации выстрела для стрелкового образца, путем замены части метательного порохового заряда на высокоплотное топливо. Предложенная математическая модель поведения высокоплотного топлива при использовании его в качестве ПЗ с учетом экспериментальных данных, позволила получить законы диспергирования и горения высокоплотных топлив в условиях динамических давления.

4. В результате проведения комплексного экспериментально-теоретического исследования получено увеличение скорости снаряда на дульном срезе на (4.9÷12.7) % в сравнении с классической схемой заряжания, при сохранении максимального давления на дно канала ствола, за счет включения в состав метательного заряда высокоплотных топлив в виде ПЗ.

Проведена оценка предельных возможностей модельной баллистической установки при использовании трех видов модернизированных высокоплотных топлив для получения наибольшего увеличения дульной скорости снаряда.

По результатам исследований подготовлены и направлены 2 статьи для опубликования в журналы, индексируемые базами данных Web of Science и Scopus. Полученные результаты представлены на научных мероприятиях (конференциях, симпозиумах и пр.).