

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

### **Численное моделирование поведения ВВ в составе малочувствительных боеприпасов при тепловых (быстрый и медленный нагрев) и ударных воздействиях (удары осколком, пулей, кумулятивной струей)**

#### 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Целью работы является создание математических кинетических моделей поведения взрывчатых веществ (ВВ) при тепловых и ударных воздействиях и разработка на их основе расчётных программ, позволяющих оценивать реакцию зарядов ВВ в составе боеприпасов с учётом геометрии, габаритов, граничных и начальных условий.

Оценка реакции ВВ на тепловые воздействия будет основываться на кинетической модели термораспада, для построения которой и определения значений её кинетических параметров будут использованы экспериментальные данные маломасштабных экспериментов по удельному газо- и тепловыделению в ходе реакции термического разложения ВВ. Разработанная модель будет реализована в виде оригинального программного продукта.

Оценка реакции ВВ на ударные воздействия будет основываться на кинетической модели возбуждения и развития взрывчатого превращения для построения которой и определения значений её кинетических параметров будут использованы известные или вновь полученные экспериментальные данные, необходимые для полного описания процессов. Разработанная модель будет реализована в виде приложения к одному из доступных коммерческих гидродинамических кодов (например, ANSYS Autodyn).

Разработка и верификация моделей будет осуществляться на основе экспериментальных данных Исполнителя, полученных на одном или нескольких российских ВВ, близких по рецептуре и свойствам к предлагаемым Заказчиком.

Исполнителем будут выполнены тестовые расчёты реакции зарядов ВВ в составе полномасштабных образцов Заказчика, для проведения которых все необходимые исходные данные будут Заказчиком представлены. Исполнитель проведет обучение персонала Заказчика работе с полученными моделями и программами на территории Заказчика.

## 2 СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

### 2.1 Тепловые воздействия

#### **Исполнитель:**

2.1.1 Разрабатывает комплект методик, устанавливающих порядок создания и верификации кинетических моделей термического разложения конденсированных веществ на основе данных по удельному газо- и тепловыделению в ходе реакции термического разложения ВВ.

2.1.2 Разрабатывает программное обеспечение для исследования методами математического моделирования термического разложения взрывчатых композиций для малочувствительных ВВ и расчёта их реакционной безопасности.

2.1.3 Разрабатывает модель термического разложения одной взрывчатой композиции российского производства, согласованной с Заказчиком, и проводит верификацию разработанной модели на маломасштабных образцах российского производства.

2.1.4 Используя имеющиеся и разработанные в рамках данных исследований модели и исходные данные, представленные Заказчиком, проводит тестовые расчёты характеристик реакционной безопасности взрывчатых композиций Заказчика в составе полномасштабных образцов.

#### **Заказчик:**

2.1.5 Регламентирует геометрию заряда, граничные, начальные условия и условия воздействия на полномасштабные образцы своего производства, для которых будут проведены тестовые расчёты.

2.1.6 Предоставляет Исполнителю все необходимые данные по свойствам ВВ и оболочек своих образцов, необходимые для проведения тестовых расчётов.

#### **Исполнитель совместно с Заказчиком:**

2.1.7 Согласуют исследуемую взрывчатую композицию российского производства, используемую для верификации разрабатываемой модели на малогабаритных образцах.

2.1.8 Организуют и проведут на территории Заказчика обучение персонала Заказчика работе с полученными методиками и программами.

## 2.2 Ударные воздействия

### Исполнитель:

2.2.1 Изготовит из российских компонентов образцы, снаряженные согласованным с Заказчиком ВВ;

2.2.2 Проведёт экспериментальные исследования на изготовленных образцах по определению следующих параметров, необходимых для проведения численного моделирования:

- ударно-волновой и изэнтропической сжимаемости «холодного» ВВ;
- реологических характеристик «холодного» ВВ;
- изэнтропы расширения продуктов взрыва;
- метательной способности ВВ;
- детонационных характеристик ВВ;
- процесса возбуждения детонации ударными волнами;

2.2.3 Экспериментально определит условия инициирования различных режимов взрывчатого превращения в экранированных образцах ВВ (детонация, взрывчатое превращение с неполным энерговыделением, отсутствие реакции) в зависимости от параметров осколка (пули, кумулятивной струи) и степени экранирования ВВ;

2.2.4 Выберет кинетическую модель взрывчатого превращения для исследуемого состава и проведёт её верификацию (подбор констант физической модели) по экспериментальным данным;

2.2.5 Разработает в виде приложения к одному из доступных коммерческих гидродинамических кодов программное обеспечение для исследования методами математического моделирования реакции взрывчатых композиций на ударное воздействие и расчёта реакционной безопасности образцов.

2.2.6 Используя выбранную модель взрывчатого превращения и исходные данные, представленные Заказчиком, проведёт расчёт характеристик реакционной безопасности взрывчатых композиций Заказчика в составе полномасштабных образцов.

**Заказчик:**

2.2.7 Регламентирует геометрию заряда, граничные, начальные условия и условия воздействия на полномасштабные образцы своего производства, для которых будут проведены тестовые расчёты.

2.2.8 Предоставит Исполнителю все имеющиеся у него данные по свойствам ВВ (технологические особенности изготовления, детонационные характеристики, уравнение состояния, ударно-волновая чувствительность и использованная схема испытаний, величина критического диаметра) и оболочек своих образцов, необходимые для проведения расчётов.

2.2.9 Определит интересующий диапазон параметров ударных воздействий (осколками, пулями, кумулятивной струей).

**Исполнитель совместно с Заказчиком:**

2.2.10 Согласуют исследуемую взрывчатую композицию российского производства, используемую для построения и верификации разрабатываемой модели на модельных образцах.

2.2.11 Организуют и проведут на территории Заказчика обучение персонала Заказчика алгоритму решения задачи с использованием предложенного численного кода.

**2.3 Работа выполняется в три этапа.**

2.3.1 Этап 1 закрывается по результатам работ, выполненным по п.п. 2.1.1 и 2.2.1 - 2.2.2;

2.3.2 Этап 2 закрывается по результатам работ, выполненным по п.п. 2.1.2 - 2.1.3 и 2.2.3 - 2.2.4;

2.3.3 Этап 3 закрывается по результатам работ по п.п. 2.1.4, 2.1.8, 2.2.5, 2.2.6, 2.2.11.

## 3 РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

### **Тепловые воздействия**

3.1 Методика комплексного экспериментально-расчётного исследования кинетики термического разложения взрывчатого вещества для получения исходных данных, необходимых для построения моделей термораспада ВВ.

3.2 Методика построения и верификации кинетических моделей термораспада ВВ в приложении для малочувствительных боеприпасов. Разрабатываемые по методике модели в задаваемой геометрии, граничных условиях и условиях термического воздействия позволяют рассчитывать:

- глубину разложения ВВ;
- время и температуру начала самоподдерживающейся реакции (теплового взрыва) ВВ.

3.3 Дистрибутив для установки программного обеспечения (ПО) для исследования методами математического моделирования термического разложения взрывчатых композиций для малочувствительных ВВ и расчёта их реакционной безопасности на персональный компьютер с операционной системой Windows.

3.4 Отчёт о результатах комплексного исследования кинетики термического разложения, построения и верификации модели термораспада ВВ российского изготовления, согласованного по п.2.1.7.

3.5 Отчёт о результатах расчёта характеристик реакционной безопасности определённых заказчиком образцов малочувствительных боеприпасов в регламентированных условиях.

### **Ударные воздействия**

3.6 Отчёт о результатах комплексного экспериментального исследования свойств ВВ российского изготовления.

3.7 Отчет о результатах экспериментального определения условий инициирования различных режимов взрывчатого превращения в образцах ВВ (детонация, взрывчатое превращение с неполным энерговыделением, отсутствие реакции) в зависимости от параметров осколка (пули, кумулятивной струи) и степени экранирования ВВ;

3.8 Отчёт о результатах разработки и верификации кинетической модели детонации ВВ, определённого Заказчиком.

3.9 Дистрибутив для установки программного обеспечения (ПО) для исследования методами математического моделирования реакции взрывчатых композиций на ударное воздействие в виде приложения к доступному коммерческому гидродинамическому коду.

3.10 Отчёт о результатах расчёта характеристик реакционной безопасности определённых заказчиком образцов малочувствительных боеприпасов в регламентированных условиях.

#### 4. ПЕРЕЧЕНЬ ПОСТАВОК ЗАКАЗЧИКУ

Наименование	Ед. измерения	Кол-во
<b>Этап 1</b> 4.1 Отчёты 4.1.1 «Результаты разработки методик для комплексного экспериментально-расчётного исследования кинетики термического разложения ВВ, построения и верификация модели термораспада» 4.1.2 «Результаты экспериментального исследования свойств ВВ Исполнителя, необходимых для построения кинетической модели взрывчатого превращения при ударных воздействиях»	Книга, компакт- диск	2 + 2
<b>Этап 2</b> 4.2 Отчёты 4.2.1 «Результаты экспериментально-расчётного исследования кинетики термического разложения ВВ на образцах Исполнителя, построение и верификация модели термораспада» 4.2.2 «Результаты экспериментального исследования условий инициирования взрывчатого превращения при ударных воздействиях на образцах Исполнителя, построение и верификация кинетической модели взрывчатого превращения»	Книга, компакт- диск	2 + 2

4.3 Программное обеспечение 4.3.1 Дистрибутив для установки ПО для исследования методами математического моделирования термического разложения взрывчатых композиций для малочувствительных боеприпасов и расчёта их реакционной безопасности. Руководство пользователя.	Компакт диск, брошюра	1 + 1
<b>Этап 3</b> 4.4 Отчеты 4.4.1 «Расчёт характеристик реакционной безопасности образцов малочувствительных боеприпасов в регламентированных условиях теплового воздействия» 4.4.2 «Расчёт характеристик реакционной безопасности образцов малочувствительных боеприпасов в регламентированных условиях ударного воздействия»	Книга, компакт-диск	2 + 2
4.5 Программное обеспечение 4.5.1 Дистрибутив для установки ПО для исследования методами математического моделирования реакции взрывчатых композиций на ударное воздействие (в виде приложения к доступному коммерческому гидродинамическому коду). Руководство пользователя.	Компакт диск, брошюра	1 + 1

## 5. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДОКУМЕНТАЦИИ

5.1 Отчет по п. 4.1.1 должен содержать:

- Описание алгоритма проведения экспериментальных и расчетно-экспериментальных исследований кинетики термического разложения ВВ, с обоснованием выбора диапазонов изменения исследуемых величин, описанием применяемых методов и требований к аппаратному оснащению;
- Описание методов обработки кинетического массива данных (набора экспериментальных откликов) и характера и структуры выходных параметров;
- Перечень и характеристики входных параметров, необходимых для построения кинетической модели термораспада и требования к методам их получения;

- Описание методологии построения, характера выходных данных и порядка верификации кинетических моделей термораспада ВВ.

5.2 Отчет по п. 4.1.2 должен содержать:

- Результаты определения параметров ударно-волновой и изэнтропической сжимаемости «холодного» ВВ, определенного совместно (п.2.2.10), его реологических характеристик, ударно-волновой чувствительности, уравнения состояния продуктов взрыва, метательной способности, детонационных характеристик и условий инициирования детонации ударными волнами;

5.3 Отчёт по п.4.2.1 должен содержать:

- Результаты исследований, связанных с построением и верификацией в соответствии с методиками (п.п. 3.1 и 3.2) кинетической модели термораспада ВВ, определённого совместно ( п.2.1.7);

- Описание структуры разработанной модели и значения её кинетических параметров;

- Результаты расчёта времени и температуры начала самоподдерживающейся реакции (теплового взрыва) в ВВ, определённого совместно (п.2.1.7), для условий модельных экспериментов и экспериментальные значения данных характеристик, полученные при верификации модели;

5.4 Отчёт по п. 4.2.2 должен содержать:

- Экспериментальные данные по уровню реакции (динамика развития взрывной реакции во времени, степень разрушения конструкции) ВВ, определённого совместно (п.2.2.10), в зависимости от параметров ударного воздействия (вплоть до условий отсутствия регистрируемых взрывных реакций);

- Основные допущения и положения, принятые при построении модели, её математическое описание и результаты численной верификации по экспериментальным данным.

5.5 Отчёт по п.4.3.1 должен содержать:

- Результаты расчётов времени и температуры начала самоподдерживающейся реакции (теплового взрыва) ВВ для полномасштабных образцов Заказчика, при этом вся необходимая для расчёта исходная информация (характеристика образцов и условия теплового воздействия) представляется Заказчиком (п.2.1.6).

- Результаты необходимо привести в виде графиков и таблиц.



5.6 Отчёт по п.4.3.2 должен содержать:

- Результаты расчётов ожидаемого уровня реакции (детонация, взрывчатое превращение с неполным энерговыделением, отсутствие реакции) ВВ для полномасштабных образцов Заказчика, при этом вся необходимая для расчёта исходная информация (характеристика образцов и условия ударных воздействий) представляется Заказчиком (п. 2.2.8).

- Результаты необходимо привести в виде графиков и таблиц.

5.7 Для описания экспериментальных результатов (п.п. 5.2, 5.3, 5.4) в отчётах должны быть приведены иллюстрации в виде графиков экспериментальных и расчётных зависимостей, таблиц со значениями параметров, а также схемы экспериментальных установок, наименование марок и моделей использованной измерительной и регистрирующей аппаратуры.

## 6. ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

№ этапа	Выполняемые работы	Срок	Стоимость
1	1) Разработка комплекта методик, устанавливающих порядок создания и верификации кинетических моделей термического разложения конденсированных веществ на основе данных по удельному газо- и тепловыделению в ходе реакции термического разложения ВВ. 2) Экспериментальное исследование по определению свойств выбранного ВВ, необходимых для построения кинетической модели взрывчатого превращения после ударных воздействий. 3) Разработка и поставка документации по этапу 1.	$T_0+12$ месяцев *)	
2	1) Разработка программного обеспечения для исследования методами математического моделирования термического разложения взрывчатых композиций для малочувствительных ВВ и расчёта их реакционной безопасности. 2) Построение и верификация модели термического разложения для выбранной взрывчатой композиции.	$T_0+24$ месяцев	

	<p>3) Экспериментальное определение условий инициирования различных режимов взрывчатого превращения в образцах выбранного ВВ при различных (осколок, пуля, кумулятивная струя) ударных воздействиях.</p> <p>4) Построение и верификация кинетической модели взрывчатого превращения при ударных воздействиях. Разработка программного обеспечения.</p> <p>5) Разработка и поставка документации по этапу 2.</p>		
3	<p>1) Расчёт характеристик реакционной безопасности полномасштабных образцов Заказчика в регламентированных условиях теплового воздействия.</p> <p>2) Расчёт характеристик реакционной безопасности полномасштабных образцов Заказчика в регламентированных условиях ударного воздействия.</p> <p>3) Обучение персонала Заказчика работе с методиками и программным обеспечением.</p> <p>4) Разработка и поставка документации по этапу 3.</p>	Т <sub>0</sub> +30 месяцев	
<p>Примечания:</p> <p>*<sup>1</sup>) - Т<sub>0</sub> - дата вступления контракта в силу</p>			