УДК 531.57

ГРНТИ 27.41.19

Е.А. Федорычев, магистрант

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,*

**Решение основной задачи внутренней баллистики выстрела для зерненного пороха в одномерной газодинамической постановке**

Аннотация. Статья посвящена численному решению основной задачи внутренней баллистики (ОЗВБ) для зернённого пороха в одномерной газодинамической постановке. Разработана математическая модель, включающая уравнения газовой динамики, горения пороха и движения снаряда. Для решения системы уравнений применён совместный эйлерово-лагранжев (СЭЛ) метод, позволяющий эффективно моделировать процессы в ствольных системах. Представлены алгоритмы расчёта для различных конфигураций ствола, снаряда и порохового заряда. Проведена численная реализация метода, а также верификация результатов на ключевых режимах — при максимальном давлении и вылете снаряда из ствола. Полученные данные демонстрируют работоспособность предложенного подхода для моделирования внутренней баллистики.

Ключевые слова: внутренняя баллистика, зернённый порох, газовая динамика, численное моделирование, метод СЭЛ

**Введение**

В настоящее время существует два основных похода к изучению внутрибаллистических процессов, протекающих в стволе артиллерийского орудия: термодинамический и газодинамический.

Термодинамический метод имеет существенные недостатки. При этом не учитываются многие факторы, влияющие на процессы горения пороха: теплопотери, форма зарядной каморы, процессы перемещения пороховых зерен вдоль каморы и т.п. В этой связи, получил развитие газодинамический метод решения основной задачи внутренней баллистики.

Представлена математическая модель, основанная на законах сохранения массы, импульса и энергии для решения задачи внутренней баллистики выстрела для зерненого пороха в одномерной газодинамической постановке, которая описывает движение газов, твердой фазы и снаряда внутри ствола. Система записана в дивергентной форме, чтобы использовать разностный совместный эйлерово-лагранжев (СЭЛ) метод, который позволяет рассчитывать течения с ударными волнами или разрывами параметров в области течения.

На основе газодинамической модели было разработано программное обеспечение, позволяющее произвести расчеты и выводить графики основных параметров газовой динамики. Так же предусмотрена возможность выводить эпюру максимальных давлений, действующих на камеру и ствол. Проведены исследования сходимости с помощью метода Рунге.

1. **Математическая постановка задачи**

Уравнение сохранения массы внутри объема  равно:

,

.

Уравнение импульсов каждой из фаз можно представить в виде:

,



Полная энергия смеси в объеме  изменяется за счет притока энергии извне, работы сил давления на ограничивающей поверхность , притока химической энергии за счет горения пороховых зерен. За счет этого получаем следующее уравнение:

 (1.4)

Система уравнений, приведенная к удобному виду для численного решения:

,

,



,

,

,



,

,

,

,

.

Начальные и граничные условия:

1. , :





где  – давление воспламенителя;  – масса воспламенителя;  – сила пороха;  – плотность заряжения;  – длина зарядной камеры; – объем зарядной камеры.

1. , 

;

1. , 

.