

*A.A. Syatchikhin, V.V. Syatchikhin*

## SHOCK WAVE PROCESSES IN UMBRELLA CHARGE CHANNEL AT SOLID FUEL ROCKET ENGINE START

**Alexey A. Syatchikhin** – senior teacher, the Department of Rocket Building, D.F. Ustinov Baltic State Technical University «VOENMEH», St. Petersburg; e-mail: 79214451769@yandex.ru.

**Vasily V. Syatchikhin** – senior teacher, Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation, PhD in Military Sciences, Perm; e-mail: slider-sdh678@yandex.ru.

*We offer a numerical solution of the problem of the interaction of igniter combustion products with the surface of the charge channel and the engine plug when starting a solid fuel engine. The initial period of the operation of the igniter from the moment of gas supply to the internal charge channel to the plug departure is considered. The numerical model is a finite-element engine design where a gas flow model approximated by the finite volume method is used to determine the pressure in the internal channel. Having solved the problem, certain results were obtained concerning the movement of the shock wave in the charge channel, its effect on the engine plug and solid fuel.*

**Keywords:** solid fuel rocket engine; solid fuel umbrella charge; shock wave processes.

*A.A. Сятчихин, В.В. Сятчихин*

## УДАРНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАНАЛЕ ЗОНТИЧНОГО ЗАРЯДА ПРИ ЗАПУСКЕ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

**Алексей Александрович Сятчихин** – старший преподаватель кафедры ракетостроения, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург; e-mail: 79214451769@yandex.ru.

**Василий Викторович Сятчихин** – старший преподаватель, Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, кандидат военных наук, г. Пермь; e-mail: slider-sdh678@yandex.ru.

*Авторами приводится численное решение задачи о взаимодействии продуктов сгорания воспламенителя с поверхностью канала заряда и заглушкой двигателя при запуске двигателя твердого топлива. Рассматривается начальный период работы воспламенителя от момента подачи газов во внутренний канал заряда и до вылета заглушки. Численная модель представляет собой конечно-элементную конструкцию двигателя, в которой для определения давления во внутреннем канале используется модель течения газа, аппроксимируемая методом конечных объемов. В результате решения задачи получены результаты по движению ударной волны в канале заряда, ее воздействию на заглушку двигателя и твердое топливо.*

**Ключевые слова:** ракетный двигатель твердого топлива; зонтичный заряд твердого топлива; ударные волновые процессы.

### 1. Введение

Взаимодействие между зарядом твердого топлива и газовым потоком внутри его канала при определенных условиях может привести к разрушению двигателя. Внутреннее давление в канале заряда де-

формирует его и увеличивает поверхность горения. Величина изменения поверхности горения зависит от физико-механических свойств топлива, наибольшее влияние из которых оказывают модуль упругости и коэффициент Пуассона.

Реальный материал топлива обладает свойством линейной вязкоупругости и поэтому модуль упругости зависит от времени хранения заряда от момента его изготовления, а также температуры самого топлива в рассматриваемый момент времени. Чтобы учесть это свойство, необходимо иметь кривую зависимости объемного модуля упругости и модуля сдвига от времени и температуры для конкретного топлива.

В оценочных расчетах разрешается использовать эффективный модуль упругости и, соответственно, проводить расчет напряженно-деформированного состояния заряда, считая, что материал линейно-упругий.

Помимо влияния физико-механических свойств топлива, причиной нестабильной работы двигателя твердого топлива служат резкие изменения давления в двигателе твердого топлива, вызываемые колебаниями внутренней поверхности канала заряда.

В данной статье рассматривается нестационарная работа двигателя твердого топлива от момента вскрытия мембраны воспламенителя до момента вылета заглушки из критического сечения сопла.

Возникающая ударная волна приводит к колебаниям в заряде твердого топлива, а также вышибает прикрепленную в критическом сечении сопла заглушку. При этом ударная волна и волна разреже-

ния вызывают колебания поверхности канала заряда.

## 2. Расчетная схема

На рис. 1 приводится схема двигателя с условным зонтичным зарядом [1; 2], скрепленным со стенками камеры сгорания. Между зарядом и стенкой корпуса двигателя нанесено теплозащитное покрытие, которое с внешней стороны скреплено с корпусом двигателя, а с внутренней – с поверхностью заряда. Топливо принимается вязкоупругим.

Геометрические размеры двигателя и свойства материалов его конструкции приводятся ниже в таблице.

Физическая картина рассматриваемого процесса выглядит следующим образом. При  $t = 0$  мгновенно открывается мембрана 11, разделяющая объем внутреннего канала с давлением  $10^5$  Па и объем воспламенителя, в котором находится газ под давлением  $1,21 \cdot 10^7$  Па с показателем адиабаты 1,242 и плотностью  $1,33 \text{ кг/м}^3$ , моделирующий газ воспламенителя.

Из-за большого перепада давления между объемами возникает ударная волна, которая движется по каналу заряда в направлении заглушки двигателя, что вызывает радиальные колебания канала заряда.

В газодинамической части численной модели определялись параметры газа воспламенителя, движущегося по внутренне-

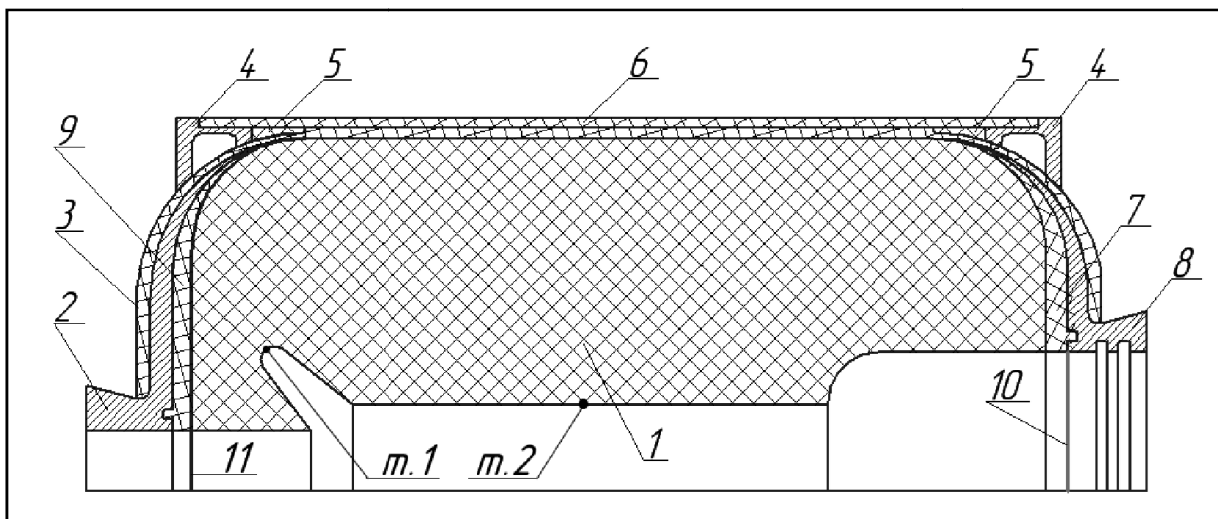


Рис. 1. Схема двигателя с зонтичным зарядом (1 – топливо; 2, 8 – обечайка; 3 – корпус; 4 – клин; 5 – компенсатор; 6 – накладка; 7, 9 – теплозащитное покрытие; 10 – заглушка сопла; 11 – заглушка воспламенителя; т. 1, т. 2 – рассматриваемые точки)

**Физико-механические свойства материалов корпуса двигателя**

Деталь	Обозначение на рис. 1	Материал	Модуль Юнга, Па	Коэффициент Пуассона
Сопло	2	Углепластик	1,85E+11 2,1E+11	0,36 0,31
Заглушка	3	Алюминий	6,8E+10	0,31
Теплозащитное покрытие	7	-----	1,14E+9 1,01E+9	0,31 0,36
Корпус	8	Боропластик	1,4E+11 1,71E+11	0,37 0,315
Фланец	9	Алюминий	6,8E+10	0,31
<b>Характерные размеры</b>				
Длина канала от начал координат до заглушки				2520 мм
Радиус заряда				930 мм
Радиус канала заряда в точке 2				250 мм

му каналу заряда, что позволяет определить параметры ударной волны и области разряжения.

**3. Результаты расчетов**

После вскрытия условной мембраны воспламенителя образуется ударная волна области сжатия и разряжения, которая движется по каналу заряда в направлении заглушки двигателя, что вызывает радиальные колебания канала заряда.

Как представлено на графике на рис. 2, ударная волна теряет давление во время движения по каналу заряда. При этом, достигая положения заглушки двигателя в критическом сечении сопла в момент времени  $t=1,4954 \cdot 10^{-4}$  с, вышибает за-

глушку.

Движение ударной волны вызывает затухающие радиальные колебания поверхности. На рис. 3 приводится график радиальных перемещений в точке 1, расположенной в зонтике канала заряда.

Аналогичный эффект ударной волны вызывает затухающие радиальные колебания поверхности в точке 2, представленные на рис. 4.

После достижения ударной волной заглушки двигателя в момент времени  $t=1,4954 \cdot 10^{-4}$  с давлением  $1,07 \cdot 10^7$  Па, вышибает ее из критического сечения сопла с ускорением. Ускорение заглушки приведено на рис. 5.

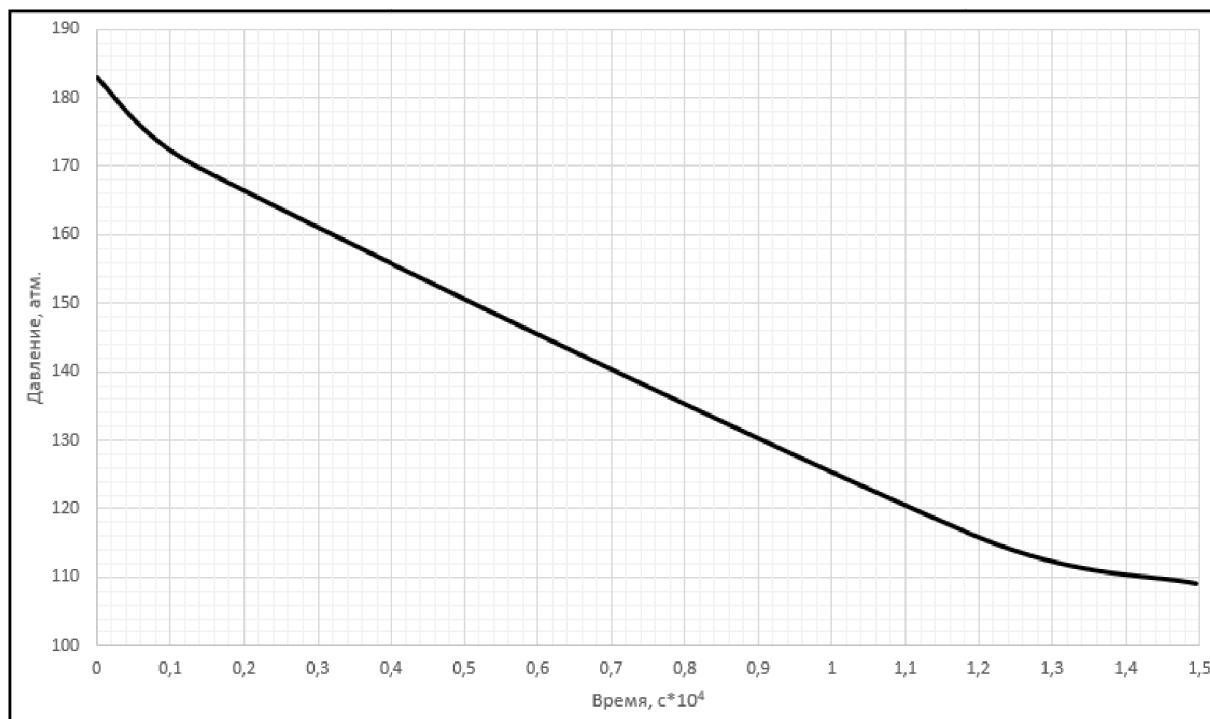


Рис. 2. Зависимость от времени давления ударной волны

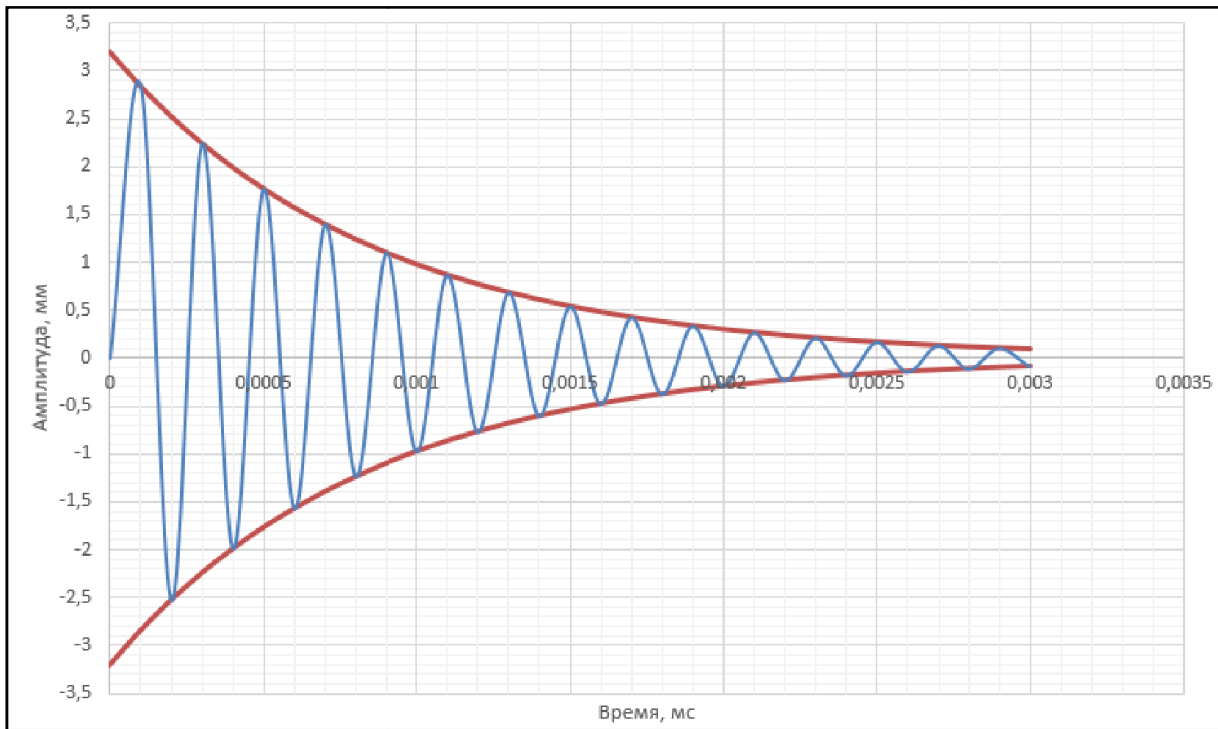


Рис. 3. Радиальные колебания точки 1 заряда в зависимости от времени

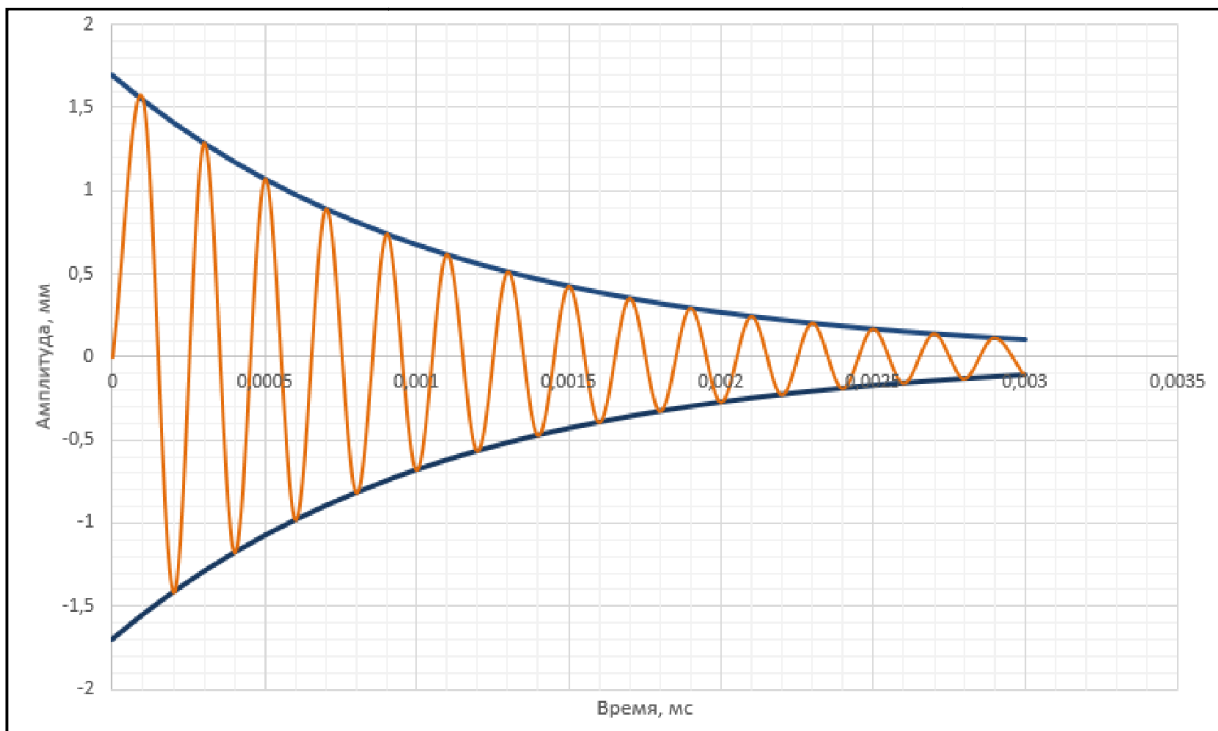


Рис. 4. Радиальные колебания точки 2 заряда в зависимости от времени

Под действием ударной волны заглушка движется в сопле. Параметры движения заглушки приведены на рис. 6 и рис. 7.

Результаты расчетов подтверждают, что ударная волна действительно приво-

дит к колебаниям в заряде твердого топлива, а также вышибает заглушку, размещенную в критическом сечении сопла. Кроме того, ударная волна совместно с волной разрежения вызывают колебания поверхности канала заряда.

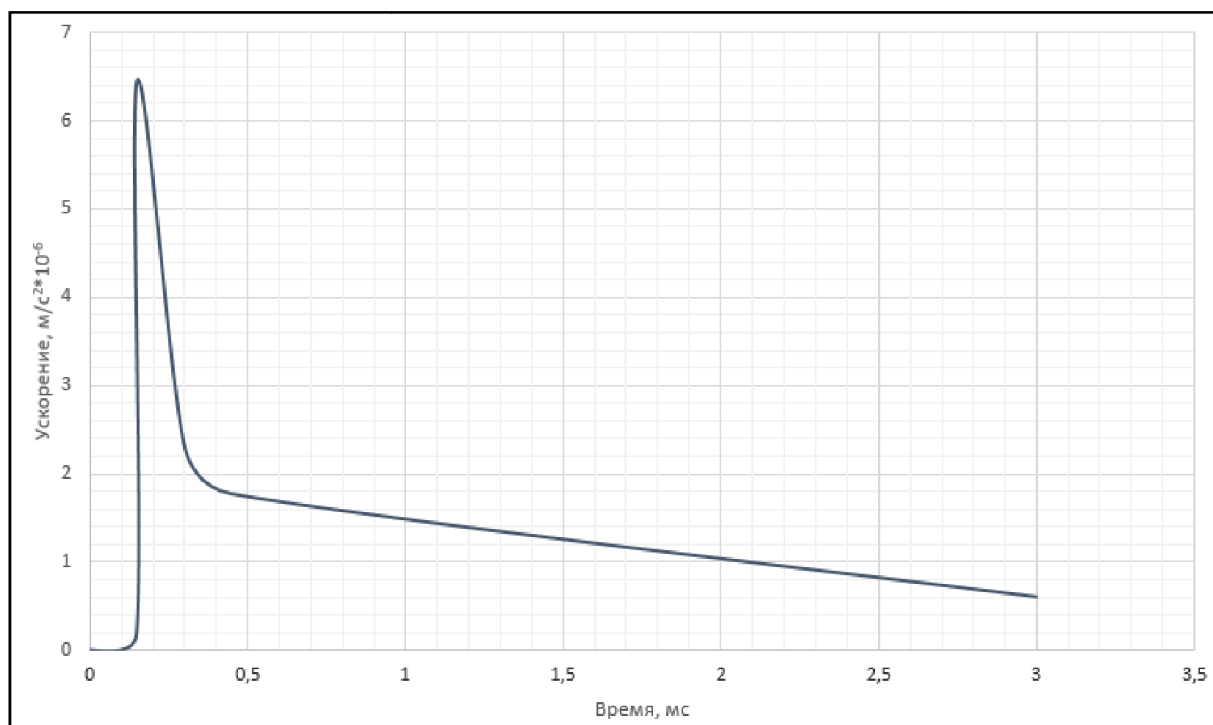


Рис. 5. Ускорение заглушки под действием ударной волны

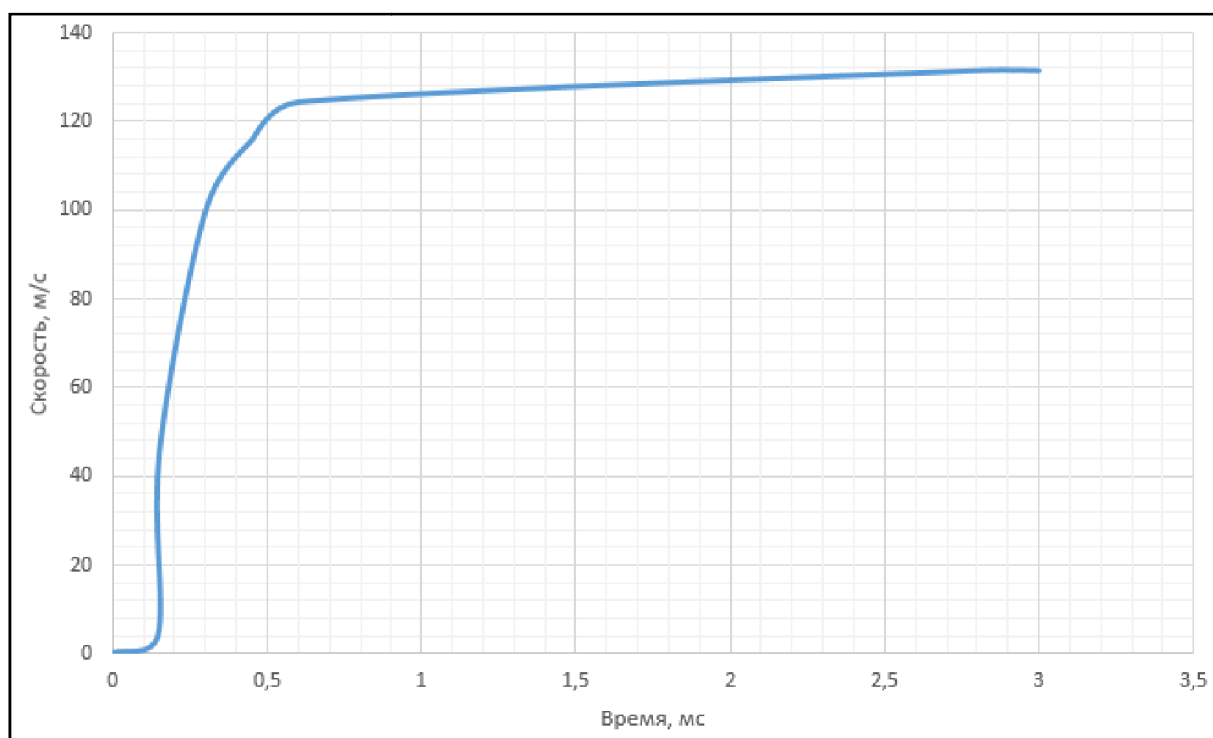


Рис. 6. Скорость заглушки под действием ударной волны

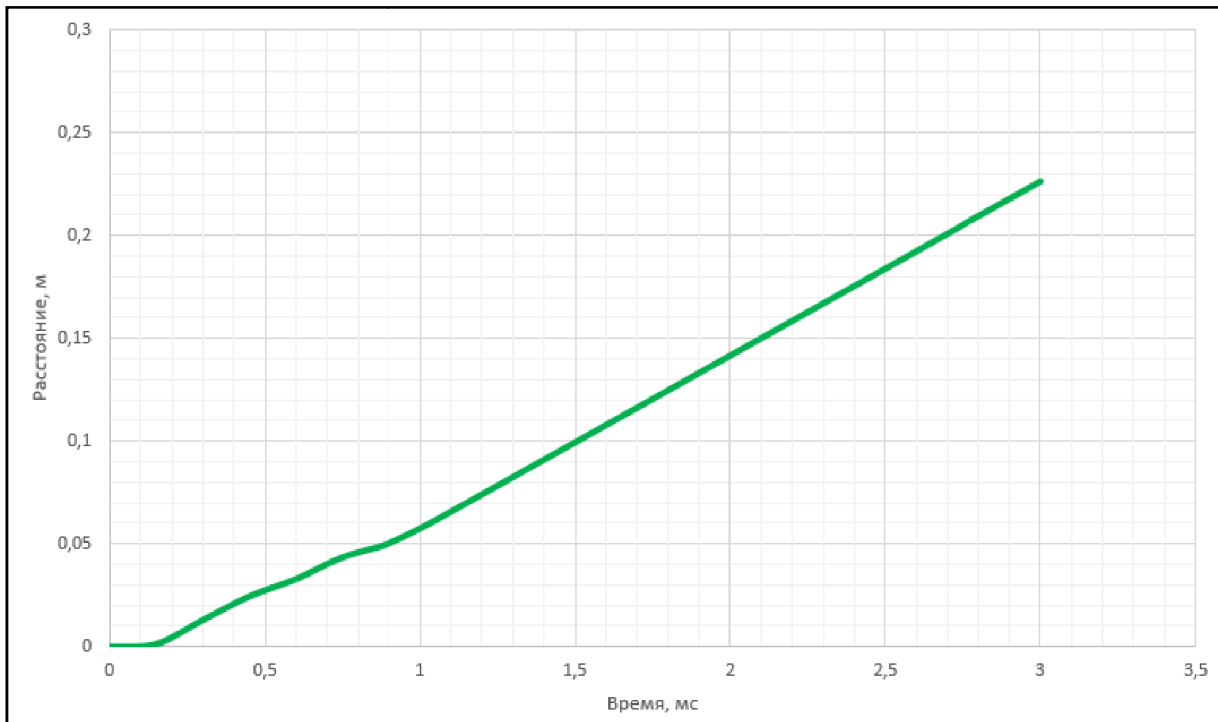


Рис. 7. Удаление заглушки от критического сечения сопла

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Внутренняя баллистика РДТТ. Вооружение и военная техника: справочная библиотека разработчика-исследователя. Т. 4 / под ред. А.М. Липанова, Ю.М. Милехина. М.: Машиностроение, 2007. 504 с.

2. Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива / под ред. В.Е. Алемасова. М: Машиностроение, 1987. 328 с.