



(51) МПК

*F42B* 1/024 (2006.01)*F42B* 1/028 (2006.01)*F42B* 1/032 (2006.01)*F42B* 12/10 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014122037/11, 30.05.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
30.05.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.05.2014

(45) Опубликовано: 27.04.2015 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 6510797 B1, 28.01.2003. WO  
1999001713 A2, 14.01.1999. RU 2160880 C2,  
20.12.2000. . . .

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Ладова  
С.В. (НИИ СМ, СМ-4)

(72) Автор(ы):

Ладов Сергей Вячеславович (RU),  
Федоров Сергей Владимирович (RU),  
Баянова Яна Михайловна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ  
им. Н.Э. Баумана) (RU)(54) КОМБИНИРОВАННАЯ КУМУЛЯТИВНАЯ ОБЛИЦОВКА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ  
ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ КОМПАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

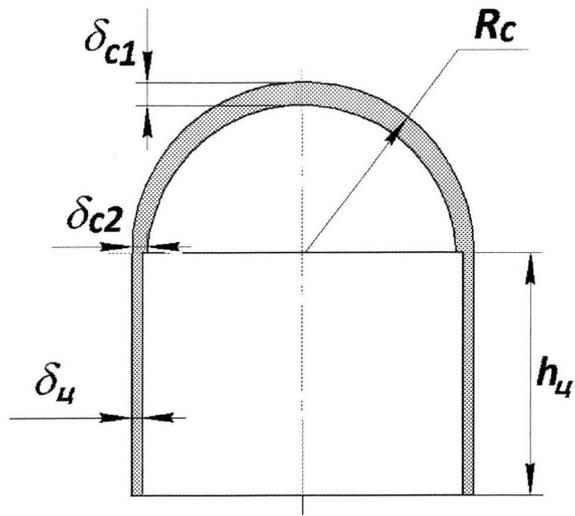
(57) Реферат:

Изобретение относится к боеприпасам, в частности к комбинированной кумулятивной облицовке для формирования высокоскоростных компактных элементов. Комбинированная кумулятивная облицовка для формирования высокоскоростных компактных элементов содержит струеобразующую часть в форме полусферы и сопряженную с ней отсекающую часть в форме цилиндра. Струеобразующая часть

кумулятивной облицовки выполнена с уменьшением толщины от вершины полусферы к ее основанию от  $(0,08...0,1)R_C$  до  $(0,03...0,05)R_C$ , где  $R_C$  - внешний радиус полусферы. Толщина отсекающей цилиндрической части кумулятивной облицовки составляет  $0,5...1,0$  от толщины основания полусферы. Достигается повышение скорости высокоскоростных компактных элементов до значений, больших  $6...9$  км/с. 5 ил.

RU  
2 549 505  
С 1

RU  
2 549 505  
С 1



Фиг. 2

RU 2549505 C1

RU 2549505 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

*F42B* 1/024 (2006.01)*F42B* 1/028 (2006.01)*F42B* 1/032 (2006.01)*F42B* 12/10 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014122037/11, 30.05.2014

(24) Effective date for property rights:  
30.05.2014

Priority:

(22) Date of filing: 30.05.2014

(45) Date of publication: 27.04.2015 Bull. № 12

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja ul., 5, str. 1,  
MGTU im. N.Eh. Baumana, TsZIS, dlja Ladova  
S.V. (NII SM, SM-4)

(72) Inventor(s):

Ladov Sergej Vjacheslavovich (RU),  
Fedorov Sergej Vladimirovich (RU),  
Bajanova Jana Mikhajlovna (RU)

(73) Proprietor(s):

federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij  
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni  
N.Eh. Baumana" (MGTU im. N.Eh. Baumana)  
(RU)

(54) **COMBINED SHAPED LINING FOR HIGH-SPEED COMPACT ELEMENT FORMATION**

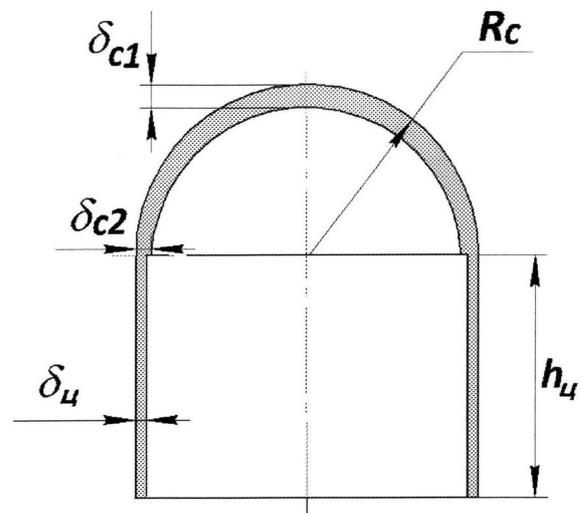
(57) Abstract:

FIELD: weapons and ammunition.

SUBSTANCE: combined shaped lining for high-speed compact element formation includes jet-forming part of hemispheric shape interfacing with a cylindrical cutoff part. Thickness of jet-forming part of shaped lining decreases from hemisphere top to its base from  $(0.08-0.1)RC$  to  $(0.03-0.05)RC$  where  $RC$  is the external radius of the hemisphere. Thickness of cylindrical cutoff part of shaped lining is 0.5-1.0 of the hemisphere base thickness.

EFFECT: increased speed of high-speed compact elements.

5 dwg



Фиг. 2

## Область техники

Изобретение относится к области ракетно-космической и оборонной техники и может быть использовано в различных кумулятивных устройствах (КУ), предназначенных для формирования высокоскоростных компактных элементов (ВКЭ) при моделировании воздействия метеоритных частиц или космического мусора искусственного происхождения на корпус космических объектов и при экспериментальном исследовании материалов в условиях высокоскоростного ударного нагружения.

## Уровень техники

Для определения реакции сложных конструкций на удар частиц с космическими скоростями требуется разработка устройств, позволяющих в наземных условиях осуществить разгон компактных металлических элементов массой от одного до нескольких десятков граммов ( $m=1 \dots 20$  г) до скоростей порядка  $V=6 \dots 9$  км/с и более [1, 2]. При этом устройства должны быть достаточно просты в конструктивном исполнении и адаптированы к условиям моделирования коллективного воздействия ВКЭ.

Для решения данной задачи применяются различные взрывные метаяющие устройства, в том числе КУ, формирующие ВКЭ [1, 2]. Основным элементом подобных КУ, помимо заряда взрывчатого вещества (ВВ) и детонирующего устройства, является кумулятивная облицовка (КО), устанавливаемая в профилированной выемке заряда ВВ и предназначенная для формирования струйного течения материала с соответствующим распределением массы и скорости его отдельных частиц при движении в пространстве. При этом известным способом формирования ВКЭ при использовании КУ является организация в нужный момент времени «отсечки» высокоскоростной части струйного течения материала, из которой в дальнейшем и формируется собственно безградиентный ВКЭ необходимой массы и скорости. Такая отсечка может быть реализована различными способами, например, с помощью метания пластин сбоку на струю или детонации бокового заряда [2], однако в этих случаях схемы организации отсечки достаточно громоздки, а механизм их реализации усложнен. В этой связи достаточно простым и не требующим использования дополнительных устройств способом является применение для данных целей комбинированных КО, состоящих из струеобразующей и отсекающей частей, сопрягающихся между собой.

В работах [1, 2] приводится ссылка на КУ, разработанное Потаповым П.И., в котором используется облицовка комбинированной формы полусфера-цилиндр (ПЦ-облицовка). В этом случае полусфера выполняет роль струеобразующей части комбинированной КО, формирующей собственно струйное течение материала с соответствующим распределением массы и скорости вдоль струи, а цилиндр, сопрягающийся с ней, выполняет роль отсекающей части, позволяющей отсечь часть струйного течения материала и выделить собственно ВКЭ определенной массы и скорости. Применение подобных комбинированных КО в составе КУ позволило получить ВКЭ в диапазоне изменения масс  $m=3,5 \dots 40$  г и скоростей  $V=4,5 \dots 4,7$  км/с при использовании цилиндрических зарядов ВВ на основе тротила-гексогена и стальных КО.

Полученные скорости метания ВКЭ более чем в 2 раза ниже требуемых. Повышение скорости формируемых ВКЭ может достигаться, например, за счет совершенствования конструкции ПЦ-облицовки, повышения мощности заряда ВВ, изменения способа инициирования заряда ВВ, введения в конструкцию КУ дополнительных элементов.

Анализ патентно-информационных источников позволил выявить ряд аналогов предлагаемого технического решения в части использования комбинированной ПЦ-облицовки в составе КУ.

Так в известном техническом решении [3] предлагается устройство метания маховской детонационной волной, состоящее из ВВ, стальной комбинированной ПЦ-облицовки, металлического корпуса, в котором заключен заряд ВВ, детонационной разводки на торце или боковой поверхности заряда. Утверждается, что при столкновении падающих  
 5 детонационных волн образуется маховская волна, давление в которой существенно выше, чем за фронтом падающей стационарной волны. Это явление и используется для увеличения скорости метания компактного элемента.

При наличии общих признаков данного технического решения с предлагаемым в части использования комбинированной ПЦ-облицовки в составе КУ, оно позволяет  
 10 получить скорости метания стальных ВКЭ массой  $m=12$  г в диапазоне  $V=7,5\dots 8,0$  км/с. Это существенно больше приводимых в работах [1, 2] значений для простейших КУ с комбинированной ПЦ-облицовкой, однако результат получен не за счет изменения конструкции КО, а за счет увеличения массы заряда ВВ по отношению к массе КО и усложнения конструкции в целом.

Другим возможным аналогом предлагаемого технического решения в части конструкции комбинированной КО может быть изобретение [4]. В нем предлагается устройство, состоящее из заряда ВВ цилиндрической формы с осевой кумулятивной  
 15 выемкой в форме полусферы-цилиндра с металлической облицовкой и детонационного устройства. При этом в полости кумулятивной выемки заряда соосно с ней установлен вкладыш с осевой кумулятивной выемкой в форме полусферы-цилиндра и с фланцем  
 20 со ступенчатой торцевой поверхностью, обращенной к заряду. Вкладыш присоединен к торцевой поверхности облицовки торцевой поверхностью ступени фланца с меньшим диаметром наружной боковой поверхности, а ступень фланца с большим диаметром наружной боковой поверхности, равным или большим диаметром наружной боковой  
 25 поверхности заряда, расположена с заданным зазором относительно ближе расположенного торца заряда.

При наличии общих признаков данного технического решения с предлагаемым в части использования комбинированной ПЦ-облицовки в составе КУ, оно позволяет  
 30 получить скорости метания стальных ВКЭ массой в единицы граммов в диапазоне  $V=7,3\dots 7,5$  км/с. Это больше приводимых в работах [1, 2] значений скоростей для простейших КУ с комбинированной ПЦ-облицовкой, однако результат получен не за счет изменения конструкции КО, а за счет введения дополнительных элементов в конструкцию КУ, существенно ее усложняющих.

Наиболее близким техническим решением, принятым за прототип, является  
 35 техническое решение комбинированной КО в составе КУ [5], в котором струеобразующая часть КО выполнена в форме полусферы постоянной толщины, а отсекающая часть КО - в форме цилиндра, при этом обе части облицовки сопрягаются и имеют один и тот же внешний радиус, а цилиндрическая часть имеет толщину, примерно на 20...25% большую, чем толщина полусферической части (Фиг. 1).

В данной конструкции формирование ВКЭ осуществляется путем отсечки части  
 40 струйного течения, образованного из полусферической части КО, с помощью схлопывания цилиндрической части КО на оси конструкции. При этом на формирование струйного течения необходимой массы и скорости существенно влияет форма и толщина струеобразующей части комбинированной КО, а эффективность отсечки зависит от  
 45 высоты и толщины цилиндрической части комбинированной КО. На основе подобной комбинированной КО было экспериментально отработано КУ, которое в дальнейшем будем называть базовым вариантом, обеспечивающее при оптимизации геометрических параметров  $R_C$ ,  $\delta_C$ ,  $h_{Ц}$ ,  $\delta_{Ц}$  комбинированной КО и использовании заряда ВВ на основе

тротила-гексогена цилиндрической формы диаметром 90 мм и высотой 144 мм  
формирование стального ВКЭ массой  $m=17\pm 4$  г со скоростью  $V=6,0$  км/с.

Общими признаками с предлагаемой комбинированной КО является наличие струеобразующей части КО, выполненной в форме полусферы, и сопрягающейся с ней отсекающей части КО в форме цилиндра.

Реализация данного технического решения приводит к устойчивому формированию ВКЭ необходимой массы, однако скорость его метания оказывается меньшей требуемого порога, заявленного для решения поставленной задачи, из-за неоптимального распределения толщины полусферической и цилиндрической частей комбинированной КО.

#### Раскрытие изобретения

Задачей предлагаемого изобретения является достижение необходимых повышенных уровней скоростей и масс ВКЭ за счет совершенствования конструкции комбинированной КО, как одного из элементов простейшего взрывного КУ для формирования ВКЭ.

Техническим результатом является повышение скорости ВКЭ до значений, больших  $6...9$  км/с, при сохранении его массы на приемлемо допустимом уровне для выполнения поставленных целей за счет изменения конструктивных параметров комбинированной ПЦ-облицовки.

Технический результат достигается тем, что в известном техническом решении комбинированной КО для формирования ВКЭ, состоящей из струеобразующей части КО, выполненной в форме полусферы постоянной толщины, и сопрягающейся с ней отсекающей части КО, выполненной в форме цилиндра, имеющего утолщение по отношению к полусфере, струеобразующая часть КО выполнена в форме полусферы с уменьшением толщины от вершины к основанию от  $(0,08...0,1)R_C$  до  $(0,03...0,05)R_C$ , где  $R_C$  - внешний радиус полусферической части облицовки. При этом для реализации эффективной отсечки высокоскоростной части струйного течения толщина отсекающей цилиндрической части кумулятивной облицовки должна составлять  $0,5...1,0$  от толщины основания полусферической части кумулятивной облицовки.

#### Перечень фигур

Фиг. 1. Схема комбинированной облицовки полусфера-цилиндр с постоянной толщиной струеобразующей части (прототип).

Фиг. 2. Схема предлагаемой комбинированной облицовки полусфера-цилиндр с уменьшающейся от вершины к основанию толщиной струеобразующей части.

Фиг. 3. Картина течения материала и формирования компактного элемента при взрывном обжати комбинированной облицовки полусфера-цилиндр: а - струеобразующая часть постоянной толщины (прототип); б - струеобразующая часть с уменьшающейся от вершины к основанию толщиной (предлагаемое решение).

Фиг. 4. Массово-скоростные распределения для струйных течений, формируемых полусферическими облицовками с разными вариантами толщин: постоянной толщины и уменьшающихся толщин от вершины к основанию: 1 -  $\delta_{C1}/\delta_{C2}=2,5/2,5$  мм (постоянная толщина); 2 -  $\delta_{C1}/\delta_{C2}=2,5/2,0$  мм; 3 -  $\delta_{C1}/\delta_{C2}=2,5/1,5$  мм; 4 -  $\delta_{C1}/\delta_{C2}=2,5/1,0$  мм

#### Осуществление изобретения

С целью определения преимуществ предлагаемого технического решения были проведены соответствующие численные расчеты по методике, которая была предварительно протестирована на результатах экспериментальных исследований [1, 5]. При этом за базовый для сравнения вариант был выбран прототип с диаметром

цилиндрического заряда ВВ 90 мм, высотой 144 мм и параметрами КО:  $R_C=26,5$  мм,  $\delta_C=2,5$  мм,  $h_{\Gamma}=26$  мм,  $\delta_{\Gamma}=3,2$  мм (Фиг. 1), в котором менялись толщины струеобразующей и отсекающей частей комбинированной КО.

5 На Фиг. 3а приведена картина течения материала и формирования ВКЭ для базового варианта, соответствующего прототипу, на момент времени, когда уже произошла  
 10 отсечка части струйного материала и выделился ВКЭ, на что указывает практически постоянный участок осевой скорости на оси ординат, равный примерно  $V_z=6$  км/с. На картине можно выделить три ярко выраженных участка: справа показан лидирующий  
 15 утолщенный участок струйного течения, формирование которого происходит в результате схлопывания цилиндрической части облицовки и который после прекращения инерционного деформирования материала «превращается» в ВКЭ, движущийся как  
 20 абсолютно твердое тело; вслед за ВКЭ движется сплошная струя материала, которая удлиняется с сокращением своего поперечного размера и является «феноменом»  
 25 численного расчета, в модель которого не вводится критерий разрушения материала (по данным экспериментальной рентгенографии такой струи не наблюдается, вместо нее движется поток мелких отдельных частиц, постепенно рассеивающихся в радиальном направлении); наконец, слева показана основная массивная часть струйного течения  
 30 материала, которая резко «тормозится» и не оказывает влияния на действие ВКЭ. При этом по проведенным оценкам масса материала струйного течения, движущегося с осевой скоростью не ниже значения  $V_z=6$  км/с составляет не менее 12...15 г. Для момента времени, когда полностью сформировался ВКЭ, это значение массы близко к экспериментально полученным значениям.

35 Известно, что повышение скорости кумулятивной струи связано с изменением толщины КО [2]. Если толщина КО не слишком мала (в противном случае не образуется нормальной струи), то с уменьшением толщины КО скорость струи должна возрастать до известного предела. Однако варьирование постоянной толщиной полусферической КО в диапазоне  $\delta_C=1,0...4,0$  мм применительно к прототипному базовому варианту  
 40 (Фиг. 1) не дало существенного прироста скорости ВКЭ. В этой связи для дальнейшего исследования был выбран вариант с уменьшающейся от вершины к основанию толщиной струеобразующей части комбинированной облицовки, при котором толщина  $\delta_{C1}$  облицовки в вершине была больше толщины  $\delta_{C2}$  облицовки в основании (Фиг. 2).

45 Такое конструктивное решение позволило существенно повысить скорость формируемого струйного течения. Так, если при толщинах  $\delta_{C1}/\delta_{C2}=2,5/2,5$  мм (прототипный базовый вариант с постоянной толщиной облицовки) скорость «головы» струйного течения составляла  $V_z=6$  км/с, то при сочетании  $\delta_{C1}/\delta_{C2}=2,5/1,0$  мм удалось достичь значения скорости  $V_z=10$  км/с. На Фиг. 4 приведены массово-скоростные  
 50 распределения струйных течений, соответствующих вышеприведенным вариантам, без учета их отсечки.

55 Как показал анализ процесса схлопывания полусферических облицовок с уменьшающейся от вершины к основанию толщиной, физическая причина увеличения скорости формируемого при этом струйного течения заключается в том, что в данном случае создаются условия для обжата облицовки, более близкого к сферически  
 60 симметричному, и в результате усиливается проявление эффекта сферической кумуляции. При взрывном обжате полусферической облицовки постоянной толщины эти условия нарушаются вследствие опережающего движения ее вершинной части (наблюдается нечто подобное выворачиванию вершинной части), что связано с более ранним

приходом к этой части облицовки детонационной волны и более ранним началом ее нагружения по сравнению с периферийной частью. Уменьшение толщины периферийной части полусферической облицовки приводит к увеличению скорости ее метания, и эффект «выворачивания» вершины облицовки проявляется в меньшей степени, обеспечивая тем самым лучшие условия для реализации сферической кумуляции (концентрации энергии во внутренних слоях схлопывающейся сферической оболочки).

На Фиг. 3б представлены результаты численного моделирования для варианта разнотолщинной облицовки  $\delta_{C1}/\delta_{C2}=2,5/1,5$  мм ( $h_{Ц}=26$  мм,  $R_C=26,5$  мм,  $\delta_{Ц}=2,5$  мм).

Видно, что в связи с увеличением скорости головной части струйного течения до  $V_z=8$  км/с (вместо  $V_z=6$  км/с для базового варианта) отсечка, производимая при схлопывании цилиндрической части, становится запоздалой и реализуется на участке струйного течения со скоростью 6,5 км/с. В результате формируется практически безградиентный участок со скоростью  $V_z=7...7,5$  км/с, перед которым движется градиентный участок струи со скоростью «головы»  $V_z=8$  км/с.

Вопрос с оптимальной «отсечкой» можно решить, уменьшая толщину цилиндрической части  $\delta_{Ц}$  до значений толщины полусферической части  $\delta_{C2}$  и менее. Проведенные оценки показывают, что при значении  $\delta_{Ц}=1,0$  мм в вышеприведенном варианте расчета удастся выделить уже безградиентный ВКЭ со скоростью не менее  $V_z=8$  км/с (прибавка по сравнению с базовым вариантом составляет не менее 25%), однако его масса по сравнению с прототипом существенно уменьшается до единиц граммов, что в принципе укладывается в рекомендуемый диапазон ее изменения. Вопрос увеличения массы ВКЭ при сохранении его скорости может быть при необходимости решен за счет пропорционального увеличения размеров КУ [5].

#### Источники информации

1. Высокоскоростное метание компактных элементов / А.Г. Балеевский, Ю.Г. Киселев, В.А. Могилев и др. // Сборник докладов научной конференции ВРЦ РАН «Современные методы проектирования и отработки ракетно-артиллерийского вооружения». - Саров: ВНИИЭФ, 2000. - С. 244-248.

2. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. - Изд. 3-е, перераб - В 2 т., Т. 2. - М.: Физматлит, 2002. - С. 37-40.

3. Патент РФ №2309367, кл. F42B 1/02. Способ и устройство формирования компактного элемента / А.С. Князев, Д.В. Маляров. - Публ. 27.10.2007.

4. Патент РФ №2383849, кл. F42B 1/028. Кумулятивное устройство / А.С. Князев, Д.В. Маляров. - Публ. 10.03.2010.

5. Жданов И.В., Князев А.С., Маляров Д.В. Получение высокоскоростных компактных элементов требуемых масс при пропорциональном изменении размеров кумулятивных устройств // Труды Томского государственного университета. - Т. 276. - Сер. физико-математическая. - Томск: Изд-во Томского ун-та, 2010. - С. 193-195.

#### Формула изобретения

Комбинированная кумулятивная облицовка для формирования высокоскоростных компактных элементов, содержащая струеобразующую часть в форме полусферы и сопряженную с ней отсекающую часть в форме цилиндра, отличающаяся тем, что струеобразующая часть кумулятивной облицовки выполнена с уменьшением толщины от вершины указанной полусферы к ее основанию от  $(0,08...0,1)R_C$  до  $(0,03...0,05)R_C$ , где  $R_C$  - внешний радиус полусферы, при этом толщина отсекающей цилиндрической

части кумулятивной облицовки составляет 0,5...1,0 от толщины основания полусферы.

5

10

15

20

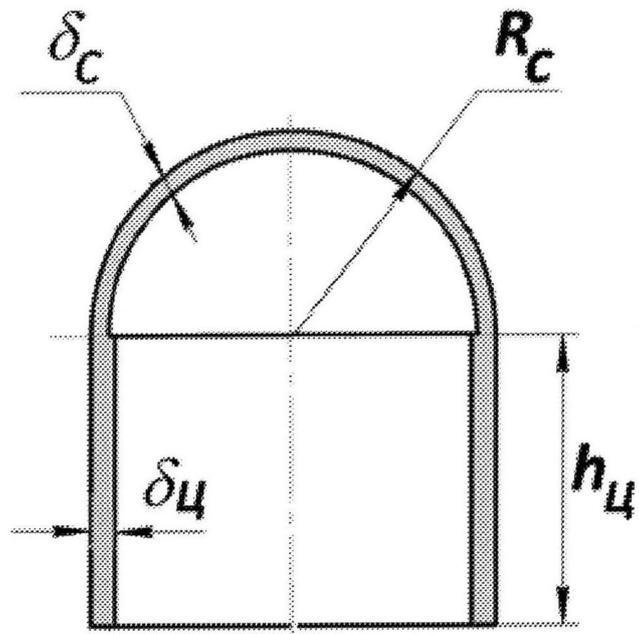
25

30

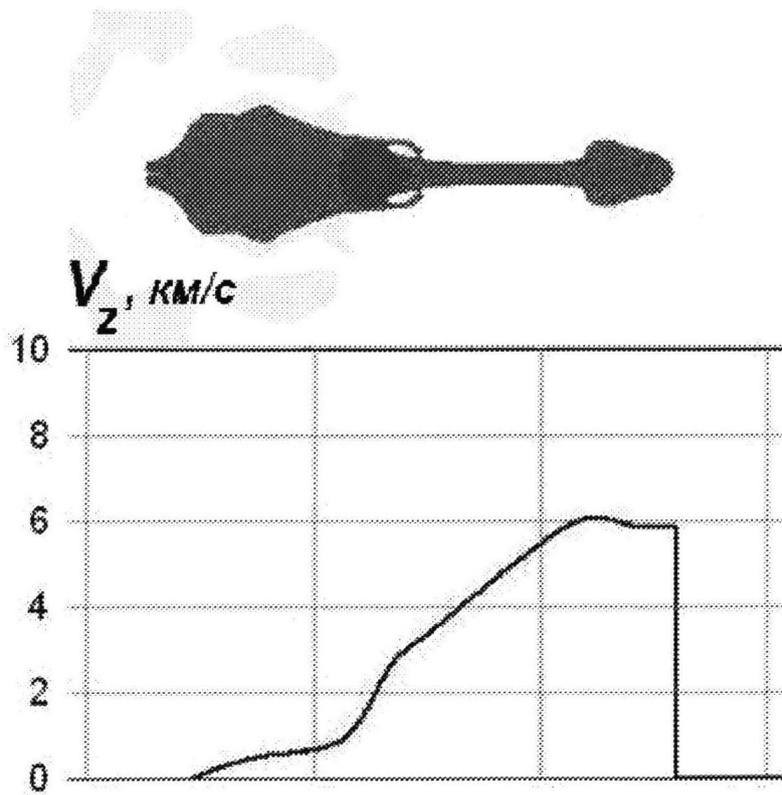
35

40

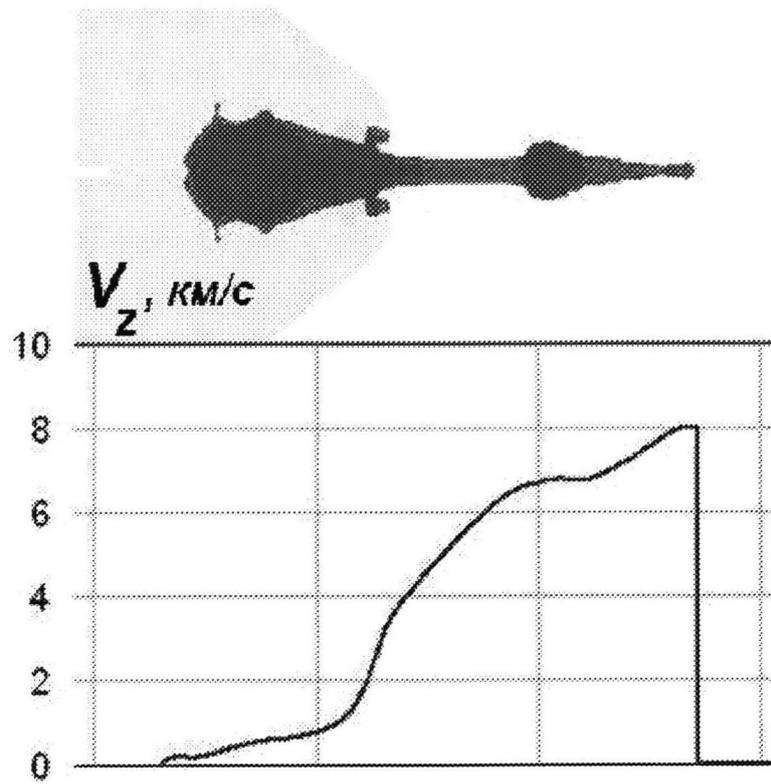
45



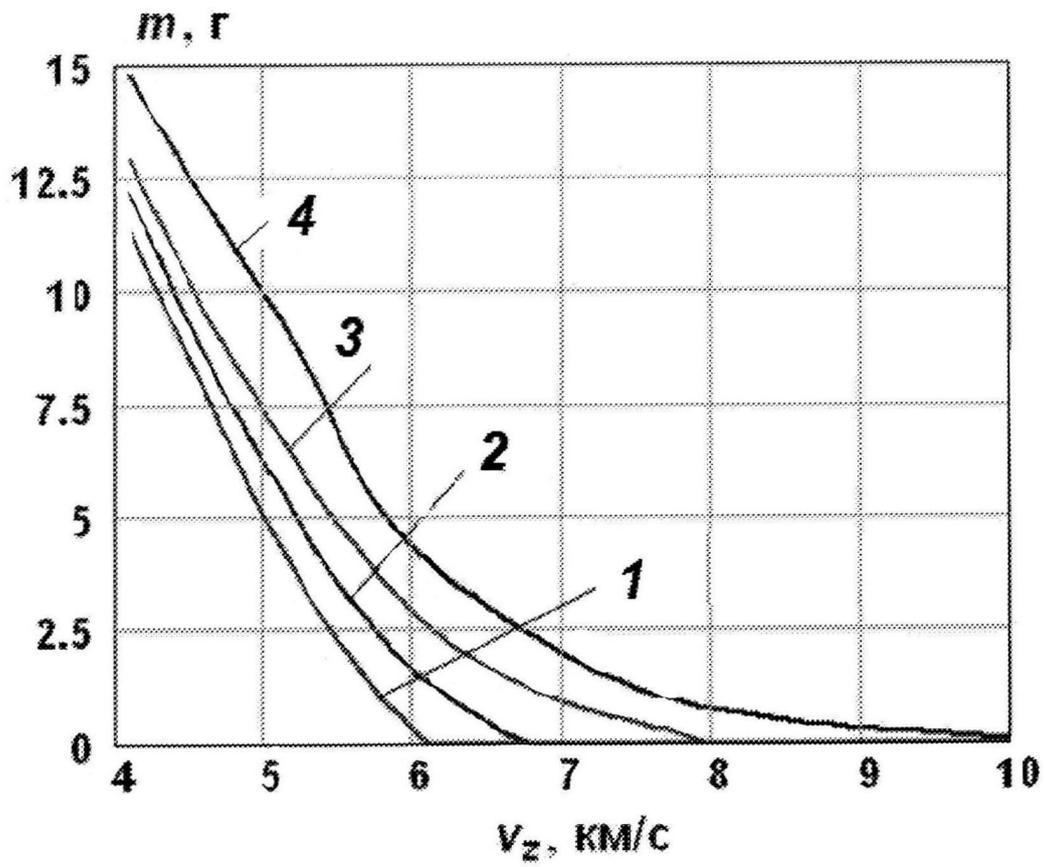
Фиг. 1



Фиг.3а



Фиг.36



Фиг.4