



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 163 342** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) МПК<sup>7</sup> **F 42 В 33/06, С 06 В 21/00, F 42 D 5/04**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

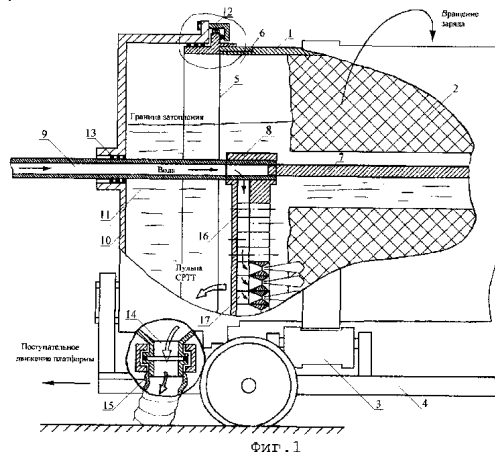
- (21), (22) Заявка: 99123123/02, 02.11.1999  
(24) Дата начала действия патента: 02.11.1999  
(46) Дата публикации: 20.02.2001  
(56) Ссылки: CONN A.F., GRACEY M.T. 9-th International Symposium on Jet Cutting Technology, Cranfield, BHRA, 1988, p.p.307-322. RU 2064659 C1, 27.07.1996. RU 2056035 C1, 10.03.1996. DE 4010757 C1, 01.08.1991. RU 2127419 C1, 10.03.1999. RU 2046284 C1, 20.10.1995. RU 2090543 C1, 20.09.1997. US 5140891 A, 25.08.1992.  
(98) Адрес для переписки:  
103074, Москва, Китайгородский пр-д 9/5,  
Военная академия ракетных войск  
стратегического назначения им. Петра  
Великого, зам. начальника Н. Емелину

- (71) Заявитель:  
Военная академия ракетных войск  
стратегического назначения им. Петра  
Великого  
(72) Изобретатель: Карелин В.А.,  
Колосов Г.Г., Кирий Г.В., Куценко  
Г.В., Мелешко В.Ю., Поник А.Н., Шеврикуко  
И.Д., Забелин Л.В.  
(73) Патентообладатель:  
Военная академия ракетных войск  
стратегического назначения им. Петра  
Великого

### (54) СПОСОБ ВЫМЫВАНИЯ СМЕСЕВОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ИЗ КОРПУСА РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

(57) Реферат:  
Изобретение относится к области утилизации военной техники и боеприпасов и может быть использовано в процессе утилизации зарядов смесевых ракетных твердых топлив (СРТТ). Свободные полости корпуса ракетного двигателя или его секции заполняют водой, приводят корпус во вращение вокруг продольной оси, подают воду высокого давления в фиксированную в корпусе режущую головку с многосопловым коллектором. Истекающие из кавитирующих сопел высокоскоростные струи воды прорезают на поверхности СРТТ щели и создают усилия отлома перемычек между щелями. После прохождения полного оборота корпуса производят его поступательное перемещение на глубину щели. Возможно осуществлять поступательное перемещение корпуса одновременно с вращательным. Эродированный в канале щели и фрагментарно отломанный СРТТ направляют в массопровод в канале заряда и далее в сепаратор. Постоянный уровень жидкости над разрушаемой поверхностью, необходимый для осуществления кавитационного режима работы сопел, поддерживается с помощью переливной урвневой трубы. За счет

использования двух механизмов разрушения: кавитационной эрозии и фрагментарного отлома под действием неуравновешенных сил давления на участки перемычек между щелями, изобретение позволяет снизить удельную энергию разрушения до 1,7 ГДж/м<sup>3</sup> по сравнению с 3,2 ГДж/м<sup>3</sup> для гидромониторного способа и 2,1 ГДж/м<sup>3</sup> для чисто гидрокавитационного способа. 6 з.п. ф-лы, 4 ил.





(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 163 342** <sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) Int. Cl.<sup>7</sup> **F 42 B 33/06, C 06 B 21/00, F 42 D 5/04**

RUSSIAN AGENCY  
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 99123123/02, 02.11.1999  
 (24) Effective date for property rights: 02.11.1999  
 (46) Date of publication: 20.02.2001  
 (98) Mail address:  
 103074, Moskva, Kitajgorodskij pr-d 9/5,  
 Voennaja akademija raketnykh vojsk  
 strategicheskogo naznachenija im. Petra  
 Velikogo, zam. nachal'nika N. Emelinu

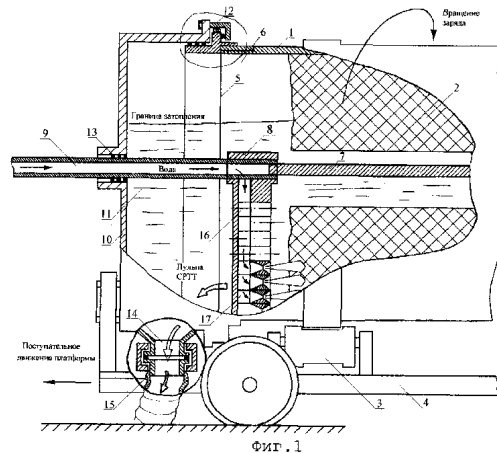
(71) Applicant:  
 Voennaja akademija raketnykh vojsk  
 strategicheskogo naznachenija im. Petra Velikogo  
 (72) Inventor: Karelin V.A.,  
 Kolosov G.G., Kirij G.V., Kutsenko  
 G.V., Meleshko V.Ju., Ponik A.N., Shevrikuko  
 I.D., Zabelin L.V.  
 (73) Proprietor:  
 Voennaja akademija raketnykh vojsk  
 strategicheskogo naznachenija im. Petra Velikogo

(54) **METHOD FOR WASH-OUT OF COMPOSITE SOLID PROPELLANT FROM ROCKET ENGINE BODY**

(57) Abstract:

FIELD: salvaging of military equipment and ammunition, applicable in the process of salvaging of composite solid propellant blocks (CSPB). SUBSTANCE: the free cavities of the rocket engine body or its sections are filled with water, the body is brought to rotation about the longitudinal axis, high-pressure water is fed to the cutting head with a multi-nozzle manifold fixed in the body. The high-speed water jets outflowing from the cavitating nozzles cut slots on the surface of the composite solid propellant block and originate forces for chip-off of the strips between the slots. After a revolution of the body it is subjected to a translational motion to the depth of the slot. Translational motion may be accomplished simultaneously with the rotary motion. The composite solid propellant block eroded in the slot duct and fragmentarily chipped-off is fed to the mass conduit in the block conduit and then to the separator. The constant level of liquid above the crushed surface required for accomplishment of cavitation operation of the nozzles is maintained with the aid of

the overflow level tube. Due to the use of two crushing mechanisms (cavitation erosion of unbalanced pressure forces on the sections of the strips between the slots, the invention makes it possible to reduce the specific crushing energy down to 1.7GJ/cu.m as compared with 3.2 GJ/cu. m for the hydromonitoring method, and 2.1 GJ/cu.m for the purely hydrocavitation method. EFFECT: enhanced efficiency. 7 cl, 7 dwg



RU 2 163 342 C1

RU 2 163 342 C1

Изобретение относится к области утилизации ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) и боеприпасов и может быть использовано при утилизации зарядов смесевых ракетных твердых топлив (СРТТ), находящихся в корпусах РДТТ, обеспечивая разрушение зарядов непосредственно в корпусе и извлечение СРТТ в виде водной суспензии для последующей переработки.

На практике применяют гидромониторное вымывание путем разрезания зарядов на куски СРТТ с извлечением этих кусков из корпуса РДТТ. Корпус РДТТ при этом устанавливают вертикально или наклонно и вводят внутрь канала заряда режущую головку с радиально или наклонно к поверхности СРТТ направленными струями. Режущая головка вращается вокруг продольной оси РДТТ, так что происходит вырезание кусков СРТТ и выпадение их из корпуса [1,2].

Недостатки известного способа заключаются в том, что для вырезания кусков применяют гидромониторные струи высокого давления (около 60 МПа), которые проходят путь от выхода сопла до поверхности СРТТ на воздухе и при ударе о поверхность СРТТ вызывают сильное аэрозолеобразование из частиц воды с растворенными в ней компонентами СРТТ (перхлорат аммония, нитрат аммония, и т. п.). Частицы аэрозоля оседают на агрегатах установки, строительных конструкциях, в фильтрах и после высыхания представляют большую пожаро- и взрывоопасность. Полученные крупные куски СРТТ для последующей утилизации необходимо измельчать, т. е. устанавливать дополнительный аппарат для измельчения. Разделка разноразмерных крупных кусков топлива требует применения больших объемов ручного труда в опасных условиях. Кроме того, способ экономически неэффективен, так как затраты энергии на удаление топлива достаточно высокие (3-6 ГДж/м<sup>3</sup> топлива).

Наиболее близким по технической сущности и принятым за прототип является способ удаления ВВ из боеприпасов с использованием расположенной внутри корпуса центрированной фиксированной режущей головки, снабженной тремя кавитирующими соплами с различными наклонами к продольной оси, причем два сопла направлены вперед для вымывания фрагментов ВВ, а третье сопло направлено назад для очистки от каких-либо остатков стенок корпуса и для разрушения фрагментов, которые слишком велики для извлечения из корпуса с потоком воды [3]. При работе осуществляется вращение корпуса и поступательное перемещение режущей головки по мере удаления материала с торца оставшегося массива. Применение кавитирующих сопел позволило снизить рабочее давление подачи воды до 27,6 - 33,1 МПа и расход энергии на извлечение 7,26 кг ВВ (155-мм снаряд) до 2,67 кВт·ч по сравнению с 3,36 кВт·ч при использовании гидромониторной техники. Время извлечения ВВ сократилось с 2,1 мин до 1,43 мин.

Недостатком принятого за прототип способа является ограниченность диаметра корпуса, из которого может быть извлечен разрушаемый заряд, дальностью действия кавитирующих струй, которая в лучшем случае составляет 40-50 диаметров сопла.

Измельчение отрезанных крупных фрагментов с помощью одного сопла, направленного в сторону выходного сечения, представляется опасным этапом операции из-за возможности заклинивания с последующим выбросом пробки, которая будет с большой скоростью ударяться о поверхность выходного проточного тракта. Использование направленного назад сопла для работы в случайном режиме повышает общие энергозатраты на извлечение материала.

Целью настоящего изобретения является создание технологического процесса вымывания из крупногабаритных (диаметром до 2 м и более) корпусов ракетных двигателей смесевых твердых топлив без крупных фрагментов, повышение производительности (до 1000 кг/ч), снижение энергозатрат на разрушение СРТТ и обеспечение безопасности при работе.

Поставленная цель достигается тем, что перед началом работы свободное пространство корпуса заполняют водой, разрушение заряда смесевое твердого топлива выполняют путем прорезания щелей на поверхности заряда и отлома перемычек между ними с помощью серии радиально разнесенных струй из кавитирующих сопел фиксированного коллектора режущей головки, длина которого соизмерима с внутренним радиусом корпуса, а плоскость коллектора с выходными сечениями сопел обращена к поверхности заряда СРТТ, и для получения направленных к оси корпуса и вдоль оси корпуса разрушающих нагрузок на перемычках между прорезаемыми щелями создают угловые смещения осей сопел относительно друг друга и относительно радиуса расположения оси первого от канала заряда сопла в плоскости коллектора, отсчитываемого от оси корпуса ракетного двигателя: выходные скорости струи и их начальные диаметры назначают в зависимости от радиального расположения сопел для поддержания одинаковой глубины щелей под всеми соплами; угловые скорости вращения корпуса ракетного двигателя назначают для получения максимальных окружных скоростей на поверхности заряда не более 5-25 мм/с для смесевых твердых топлив с прочностью на растяжение 0,2-1,0 МПа и модулем упругости 7-30 МПа при относительном удлинении 10%; скорость продольного перемещения корпуса ракетного двигателя или его секции выбирают в зависимости от угловой скорости вращения и глубины щели; в коллекторе сопел или некоторых сопел устанавливают прерыватели потока гидродинамического типа.

Сравнительный анализ существенных признаков прототипа и предлагаемого способа показывает, что отличительными

существенными признаками предложения являются такие, в соответствии с которыми

- перед началом работы свободное пространство корпуса заполняют водой;

- разрушение заряда выполняют путем прорезания щелей на поверхности и отлома перемычек между ними с помощью серии радиально разнесенных струй из кавитирующих сопел фиксированного коллектора режущей головки;

- для получения направленных к оси корпуса и вдоль оси корпуса разрушающих нагрузок на перемычках между прорезаемыми

щелями создают угловые смещения осей сопел относительно друг друга и относительно радиуса расположения оси первого от канала заряда сопла с отсчетом от оси корпуса ракетного двигателя;

Таким образом, предложение имеет новизну.

Авторам не известна совокупность существенных признаков, применяемая для решения данной технической задачи, что соответствует критерию "изобретательский уровень".

Сущность настоящего изобретения будет более понятна из рассмотрения фигур чертежей, где

фиг. 1 представляет общую схему извлечения СРТТ из корпуса РДТТ с горизонтальным расположением его оси;

фиг. 2 показывает общую схему извлечения СРТТ из секции корпуса ракетного двигателя с вертикальным расположением его оси;

фиг. 3 представляет схему взаимного расположения поверхности заряда СРТТ в корпусе ракетного двигателя и коллектора режущей головки с соплами;

фиг.4 изображает тандемное сопло, и следующего описания примера предпочтительного выполнения способа.

На фиг. 1 изображен вариант схемы вымывания СРТТ из корпуса ракетного двигателя. Корпус 1 с зарядом твердого топлива 2 установлен на поворотных роликах 3 рельсовой тележки 4. Поворотные ролики и колесные пары тележки снабжены силовыми приводами (не показаны). Через отверстие 5 в днище корпуса 6 внутрь канала заряда введена цилиндрическая центрирующая штанга 7 и скреплена с фиксированной в пространстве режущей головкой 8 на конце рабочей штанги 9, через которую в режущую головку поступает вода высокого давления. Отверстие 5 днища 6 закрыто крышкой 10 сборника 11. Крышка 10 соединена со сборником 11 через поворотный уплотнительный узел 12. Выход рабочей штанги из сборника 11 снабжен поворотно-поступательным уплотнительным узлом 13. Корпус сборника 11 неподвижно скреплен с платформой рельсовой тележки и в своей нижней части имеет патрубок 14 для крепления гибкого шланга массопровода 15, обеспечивающего вывод измельченного СРТТ. Режущая головка имеет фиксированный коллектор 16 с кавитирующими соплами 17. С помощью механизма начальной установки режущей головки (не показан) коллектор подводят к поверхности СРТТ, оставляя между упомянутой поверхностью и выходными сечениями кавитирующих сопел расстояние  $x/d = 10-50$ , где  $d$  - диаметр выходного канала сопла.

На фиг. 2 приведена общая схема способа вымывания смесевго твердого топлива из секции корпуса ракетного двигателя. Секцию корпуса 1 устанавливают вертикально на платформу 18 с герметизирующими прокладками по окружности стенки. Платформа через подшипники качения 19 опирается на каретку 20. На раме каретки закреплен двигатель 21 с редуктором передачи вращения платформе с закрепленной на ней секцией ракетного двигателя. Каретка вместе с ходовыми винтами 22, салазками (не показаны) и

двигателями 23 образует механизм подъема платформы по мере извлечения СРТТ из секции корпуса. Через канал заряда СРТТ в секции корпуса пропускают центрирующую штангу 7 и скрепляют ее с фиксированной режущей головкой на конце рабочей штанги 9, через которую в режущую головку 8 поступает вода высокого давления. После этого с помощью механизма подъема платформы подводят открытую поверхность СРТТ под режущую головку с коллектором, оставляя между поверхностью СРТТ и срезами сопел коллектора расстояние  $x/d = 10-50$ , где  $d$  - диаметр канала сопла. Затем верхний торец корпуса закрывают крышкой 24, снабженной герметизирующими уплотнениями по образующей корпуса секции РДТТ и скользящим герметизирующим уплотнением по окружности рабочей штанги. К платформе 18 снизу подсоединяют массопровод 15, входящий через скользящее герметизирующее уплотнение в сепаратор 25, имеющий снизу коническую воронку и затвор 26 для выгрузки измельченной массы СРТТ. Слив жидкой фазы осуществляют через уроневую трубу 27, снабженную расширителем 28, с отводом жидкости в контур извлечения растворенного окислителя и после дополнительной очистки - в напорный бак и далее - в насос высокого давления (не показаны). В сепараторе размещена также скользящая концевая опора 29 для центрирующей штанги 7.

На фиг.3 показан фиксированный коллектор 16 режущей головки 8. Радиальная длина коллектора меньше радиуса внутренней поверхности стенки корпуса на величину нормированного допуска. Вдоль коллектора с заданными радиальными шагами (равными или различными) размещены кавитирующие сопла 17. На фиг. 3а, показывающей расположение сопел 17 по отношению к торцевой поверхности заряда в секции корпуса 1, оси сопел имеют угловое смещение относительно друг друга и относительно радиуса оси первого сопла 17а, отсчитываемого от оси канала заряда в секции корпуса 1. На фиг. 3б радиальные сечения всех сопел приведены к плоскости радиального сечения первого сопла. На фиг. 3а, 3б приведены 4 сопла с равными угловыми смещениями по радиальным сечениям А, В, С, D, хотя число сопел в зависимости от размера корпуса секции может быть иным, а радиальные межсопловые расстояния и углы смещения могут изменяться в зависимости от механических и физико-химических свойств СРТТ. Для осуществления настоящего способа могут применяться известные кавитирующие сопла, например конструкции В. П. Родионова (авт. свид. СССР NN 1274221, 1513699, 1614241), Cavijet, Stratojet или иные.

На фиг. 4а приведена схема тандемного сопла 30, имеющего два выходных канала струй, причем струи 31, 32 движутся друг за другом и используются для прорезания одной щели 33 на поверхности заряда СРТТ. Фиг. 4б показывает тандемное сопло в плане, прорезаемую щель 33 и отламываемую часть перемычки 34. На фиг. 4а изображены также поперечное сечение щели и возникающие нагрузки на боковые поверхности щели.

При осуществлении способа с использованием описанного выше устройства с горизонтальным расположением оси

ракетного двигателя (фиг.1) заполняют водой свободные полости корпуса 1 и сборника 11. Истечение воды по массопроводу предотвращают путем подъема шланга массопровода и образования переливного колена. При работе подают в рабочую штангу 9 воду высокого давления и одновременно включают силовые приводы поворотных роликов 3 и колесных пар тележки 4, чем обеспечивают вращательное и поступательное движение корпуса. Вода высокого давления через фиксированный коллектор 16 режущей головки 8 входит в кавитирующие сопла 17 и истекает из них в виде кавитирующих струй.

В результате взаимодействия высокоскоростной струи с окружающей малоподвижной жидкостью возникают вихри, внутри которых образуются зоны пониженного давления. Когда давление становится ниже давления насыщенного пара воды при температуре эксплуатации, внутри вихря образуется паровая каверна или кавитационный пузырек в зависимости от размера вихря. Эти паровые каверны и пузырьки в виде кавитационного облака движутся в одном направлении со струей и когда струя натекает на поверхность СРТТ, формируя зону повышенного давления в результате торможения, то в зоне повышенного давления эти пузырьки и каверны схлопываются в результате конденсации имеющегося внутри них пара. Схлопывание пузырьков и каверн происходит с очень высокой скоростью, так что образуются ударные волны, а при схлопывании вблизи поверхности образуются еще и микроструи воды типа кумулятивных струй, направленные к поверхности. Одновременное воздействие на поверхность СРТТ скоростного напора струи, множества микроимпульсов ударных давлений и микроструй от схлопывающихся пузырьков и каверн приводит к более интенсивному разрушению материала по сравнению с воздействием гидромониторной (т.е. проходящей путь от сопла до поверхности на воздухе) струи. При вращении секции корпуса 1 в топливе под каждым соплом прорезается щель, глубина и ширина которой определяются применяемым типом кавитирующего сопла, окружной скоростью движения поверхности топлива относительно сопла, расходом и давлением воды и характеристиками СРТТ. При давлении воды 10-15 МПа и окружной скорости 5-24 мм/с экспериментально получали в штатном СРТТ класса 1.1 щели глубиной до 35d и шириной до 4d, где d - диаметр сопла, мм. В материале с низким модулем упругости, что является характерным для СРТТ, поперечные сечения щелей имели трапециевидную форму.

Измельченное СРТТ вместе с водой отводят в сборник 11 и далее по гибкому шлангу массопровода 15 в отстойник (не показан). При перемещении рельсовой тележки с корпусом и сборником шланг массопровода удлиняют за счет извлечения его из укладки.

При осуществлении способа с использованием описанного выше устройства с вертикальным расположением двигателя (фиг. 2) заполняют водой полости крышки 24, канала заряда СРТТ в секции корпуса 1, массопровода 15, сепаратора 25 и уровневой

трубы 27 до перелива в расширитель 28 и включают механизм вращения платформы 18 с закрепленной секцией корпуса 1. Предварительной проливкой рабочей штанги от клапана подачи воды высокого давления до сопел 17 водой низкого давления весь проточный тракт заполняют водой. После этого открывают клапан подачи воды высокого давления на рабочей штанге, в результате чего в приемных камерах сопел 17 повышается давление до 10-15 МПа и начинается истечение затопленных высокоскоростных (100-120 м/с) кавитирующих струй к поверхности СРТТ в секции корпуса 1.

Расположение сопел на коллекторе с угловым смещением друг относительно друга приводит к опережающему прорезанию щели на первом сопле относительно остальных. При этом образуется перемычка между каналом заряда и щелью от первого сопла. Под действием давления в щели на поверхность перемычки создаются срезающие усилия у основания перемычки (у dna щели) и по высоте перемычки в зоне максимальных давлений вблизи оси струи, которые приводят к отлому фрагментов СРТТ. Возможная толщина отломанного фрагмента увеличивается с ростом глубины щели. Чем глубже получаемая щель, тем больше может быть радиальный шаг между соседними соплами. Опережающее движение первого сопла 17a готовит открытую поверхность перемычки, образующейся при прорезании щели соплом 17b. Отлом фрагмента СРТТ осуществляется как и при работе сопла 17a. Последнее сопло, показанное на фиг. 2 как 17d, кроме отламывания фрагмента используется для зачистки поверхности стенки корпуса от остатков СРТТ или для разрушения слоя ТЗП (в случае извлечения СРТТ для его последующей утилизации разрушение ТЗП нецелесообразно из-за необходимости в последующем отделении его от компонентов собственно СРТТ, более целесообразна отдельная дополнительная операция очистки корпуса от ТЗП, промслоя и других технологических покрытий, осуществляемая по известным технологиям очистки). Для уменьшения размеров отламываемых фрагментов используют тандемное сопло (фиг. 4), с помощью которого увеличивают давление внутри щели на ее боковые поверхности за счет тормозящего действия струи из заднего сопла, затрудняющей оттекание придонной струи из переднего сопла. Заднее сопло может иметь меньший диаметр и наклон в сторону переднего сопла.

Эродированные из щели частицы СРТТ и отломанные фрагменты СРТТ вместе с потоком воды направляют в массопровод и далее в сепаратор, где частицы и фрагменты СРТТ под действием гравитационных и инерционных сил оседают в коническую воронку, а воду вместе с растворенными в ней компонентами (перхлоратом аммония и другими солевыми окислителями) отводят через уровневую трубу и расширитель во всасывающий патрубок насоса (не показан) контура извлечения окислителя и очистки. По мере накопления частиц и фрагментов СРТТ в воронке осуществляют ее опорожнение через нижний затвор. После прохождения платформой одного полного оборота осуществляют подъем каретки на величину глубины щели для выполнения следующего

оборота с удалением СРТТ. Возможен также процесс непрерывного подъема при одновременном вращении платформы с шагом винтовой линии, равным глубине щели.

Для оптимального использования энергии водяных струй выходы сопел с диаметром  $d$ , мм должны располагаться на расстоянии  $x$ , мм от поверхности, подлежащей прорезанию,  $x/d = 10-50$  в зависимости от окружной скорости, скорости струи и механических свойств разрушаемого материала. Кроме того, из-за вероятности оставления выступов на разрушенной поверхности при предыдущем обороте платформы нельзя принимать  $x$  менее 20 мм, т.к. в противном случае может произойти механический удар по СРТТ.

Экспериментально было показано (акт испытаний прилагается), что вынос материала при прорезании щели, характеризующий глубину щели (эрозионная часть фрагментарно-эрозионного режима разрушения), зависит от соотношения скоростей струи и окружной скорости на данном радиусе расположения сопла и при некотором их значении имеет максимум. Эта зависимость была аппроксимирована выражением

$$\Phi = V'/Q' = k_1 (u/v)^n \cdot \exp(-k_2 u/v)$$
 для  $x/d = \text{const}$ ,  
 где  $V'$ -секундный объемный расход материала из щели, см<sup>3</sup>/с;  
 $Q'$ -секундный объемный расход воды через сопло, см<sup>3</sup>/с;  
 $u$ -окружная скорость, см/с;  
 $v$ -скорость истечения струи из сопла, см/с;  
 $k_1, k_2, n$  - коэффициенты, зависящие от величины  $x/d$ .

Для получения одинаковых глубин щелей под всеми соплами, расположенными на различных радиусах, т. е. имеющими различные окружные скорости относительно поверхности топлива, необходимо изменять либо скорость струй, либо их начальные диаметры, либо расстояния  $x/d$ . Изменять скорость струй за счет изменения (снижения) давления с помощью гидравлических сопротивлений невыгодно. Поэтому регулирование эрозионного уноса массы (глубины щелей) осуществляют за счет изменения диаметра сопел.

Поскольку  $V' = H \cdot B \cdot u$ , см<sup>3</sup>/с, а  $Q' = (\pi d^2/4)v$ , см<sup>3</sup>/с, то  $H \cdot B / (\pi d^2/4) = k_1 (u/v)^n \cdot \exp(-k_2 u/v)$ , где  $H$ -глубина щели, см;  $B$ -ширина щели, см.

Задавая значениями  $H, v$  и  $u$  для данного радиуса расположения сопла, решают уравнение относительно  $d$ , используя экспериментальные зависимости коэффициентов  $k_1, k_2, n$  от величины  $x/d$  для разрушаемого СРТТ. Увеличение диаметра сопла приводит к увеличению ширины щели (обычно  $B = (3-4) d$ ), что учитывают при назначении радиальных шагов между соплами. Назначение выходных скоростей струи и их начальных диаметров в зависимости от радиального расположения сопел делает возможным равномерное удаление СРТТ как по поперечному сечению заряда, так и по его длине.

Скорость продольного перемещения корпуса ракетного двигателя или его секции выбирают на основании соотношения  $w = \omega \cdot H$ , см/с, где  $\omega$  - скорость вращения корпуса РДТТ, об/с;  $H$  - глубина щелей, см, прорезаемых струями при вращении. Завышение скорости продольного перемещения ведет к аварийной

ситуации, вызываемой упором коллектора в поверхность заряда. Занижение скорости продольного перемещения ведет к снижению производительности и экономичности.

Установка тандемных сопел позволяет уменьшить размер отлаиваемых фрагментов, что облегчает гидротранспорт продуктов разрушения заряда СРТТ и снижает затраты энергии на дополнительное измельчение фрагментов СРТТ, например в дезинтеграторе, при извлечении и регенерации водорастворимых окислителей.

Известно, что наибольшие скорости струйного разрушения материала достигаются в момент удара струи о поверхность. Такой режим работы реализуют путем постановки гидродинамических прерывателей потока, например на основе бистабильных осцилляторов, на входе в сопло. Частоту осциллятора выбирают из условия получения расстояний между следами ударов струи в щели не более  $2d$ , чтобы иметь достаточно гладкую поверхность дна щели.

Совместное использование двух механизмов разрушения: кавитационной эрозии и фрагментарного отлома участков перемычек между щелями привело к снижению удельной энергии разрушения типового СРТТ класса 1.1 до 1,7 ГДж/м<sup>3</sup> по сравнению с 3,2 ГДж/м<sup>3</sup> для гидромониторного разрушения и 2,7 ГДж/м<sup>3</sup> для чисто гидрокавитационного разрушения. С учетом осуществления способа в замкнутой системе с обратным использованием воды, что делает его экологически чистым и безопасным, а также возможность применения способа для вымывания СРТТ из корпусов практически любых диаметров и высокой производительности, обусловленной фрагментарными отломами СРТТ, предложение имеет практическую значимость для производств, занятых ликвидацией ракетной техники и боеприпасов.

Источники, принятые во внимание:

1. Monroe J.W. et al. Патент США N 3312231, 1967.
2. Scott L.B. Патент США N 3440096, 1969.
3. Conn A. F., Gracey M.T. 9-th International Symposium on Jet Cutting Technology, Cranfield, BHRA, 1988, pp.307-322.

### Формула изобретения:

1. Способ вымывания смесового твердого топлива из корпуса ракетного двигателя либо из секции корпуса, включающий подачу воды высокого давления внутрь корпуса или его секции для получения высокоскоростных струй, натекающих на поверхность заряда смесового твердого топлива для его разрушения, и одновременно вращение корпуса или его секции вокруг продольной оси совместно с продольным перемещением и извлечением разрушенного топлива в потоке отходящей воды, отличающийся тем, что перед началом работы свободное пространство корпуса заполняют водой, разрушение заряда смесового твердого топлива выполняют путем прорезания щелей на поверхности заряда и отлома перемычек между щелями с помощью серии радиально разнесенных струй из кавитирующих сопел фиксированного коллектора режущей головки, а плоскость обращена к поверхности заряда смесового твердого топлива, и для получения направленных к оси корпуса и вдоль оси

корпуса разрушающих нагрузок на образующихся перемычках между прорезаемыми щелями создают угловые смещения осей сопел относительно друг друга и относительно радиуса расположения оси первого сопла, отсчитываемого от оси корпуса ракетного двигателя.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что кавитирующие сопла располагают на радиальном коллекторе, имеющем возможность адаптации к продольному профилю поверхности заряда с поддержанием относительного расстояния  $x/d = 10 - 50$ , где  $x$  - расстояние от среза сопла до поверхности заряда, а  $d$  - диаметр канала сопла.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что выходные скорости струй и их начальные диаметры назначают в зависимости от радиального расположения сопел для поддержания одинаковой глубины щелей по всем соплам.

4. Способ по пп.1 - 3, отличающийся тем, что угловые скорости вращения корпуса ракетного двигателя назначают для получения максимальных окружных скоростей на поверхности заряда не более  $5 - 25$  мм/с для смесевых твердых топлив с прочностью на растяжение  $0,2 - 1,0$  МПа и модулем упругости  $7 - 30$  МПа при относительном удлинении  $10\%$ .

5. Способ по пп.1 - 4, отличающийся тем, что скорость продольного перемещения корпуса ракетного двигателя или его секции выбирают в зависимости от угловой скорости вращения и глубины щели.

6. Способ по пп.1 - 5, отличающийся тем, что в коллекторе устанавливают тандемные сопла.

7. Способ по пп.1 - 7, отличающийся тем, что на входах всех сопел или некоторых сопел устанавливают прерыватели потока гидродинамического типа.

20

25

30

35

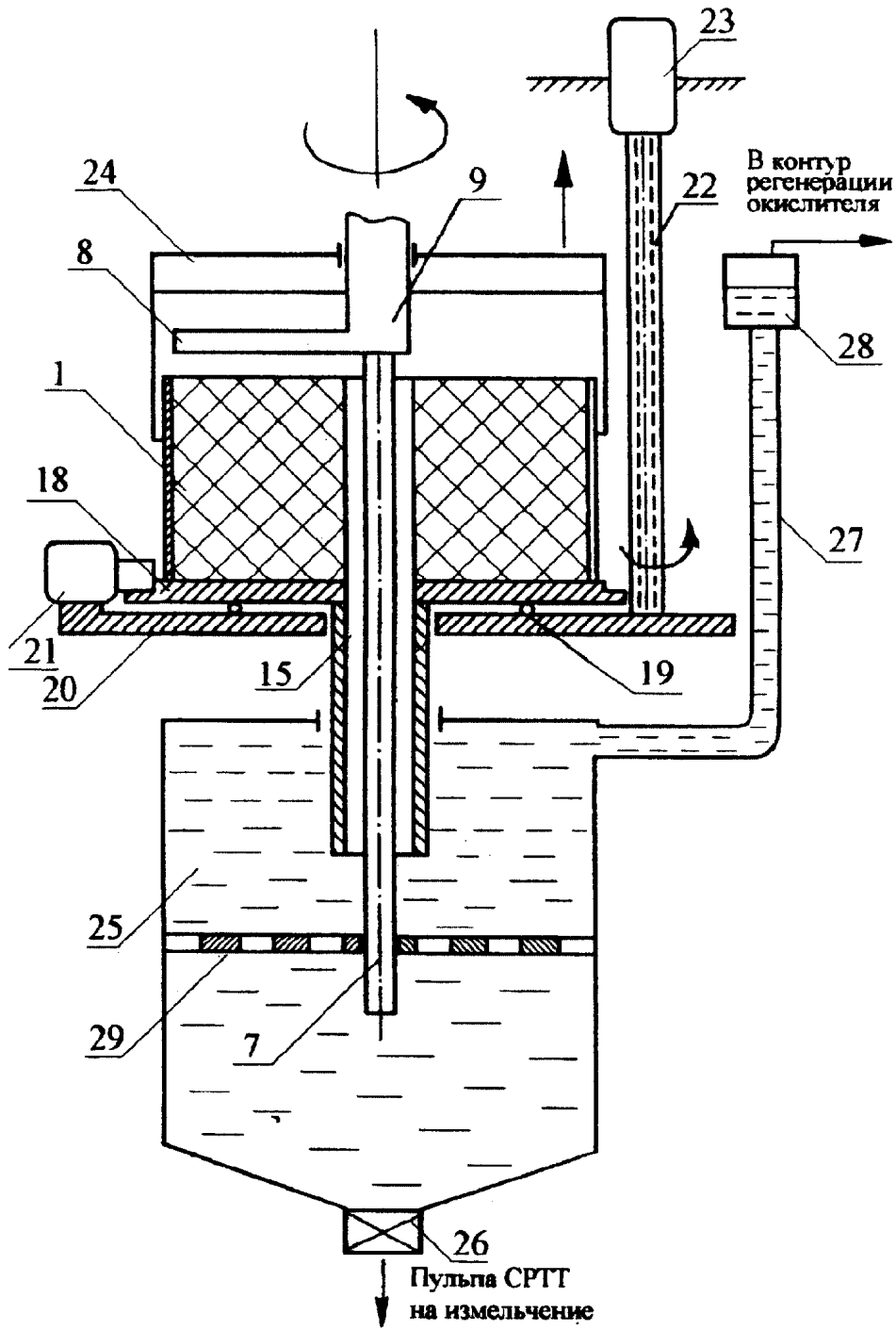
40

45

50

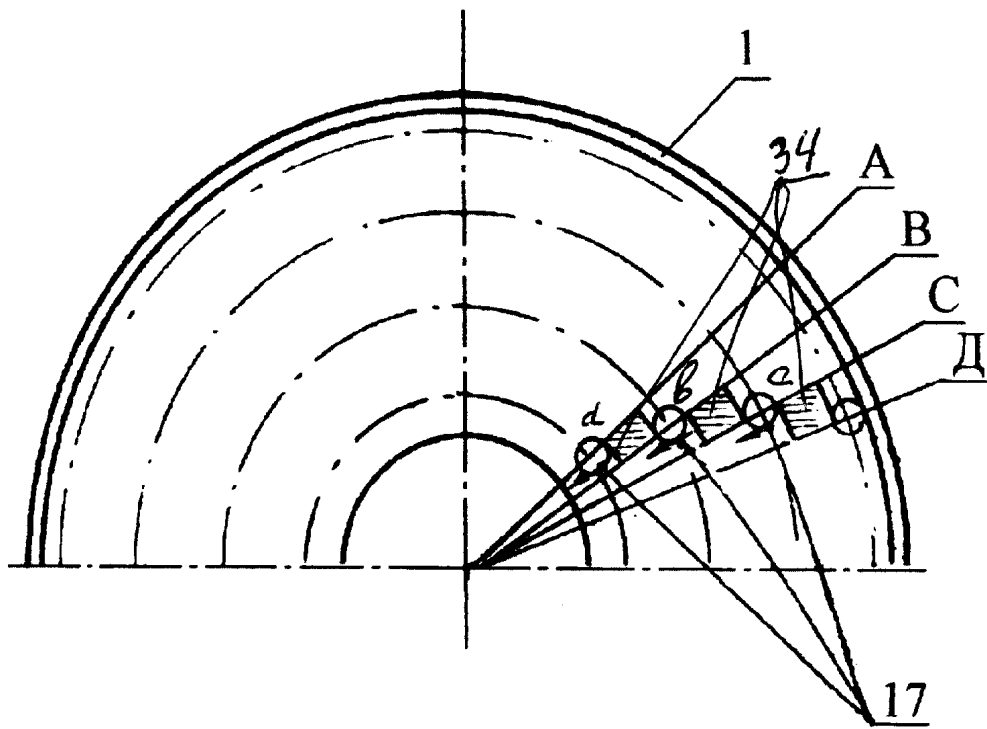
55

60

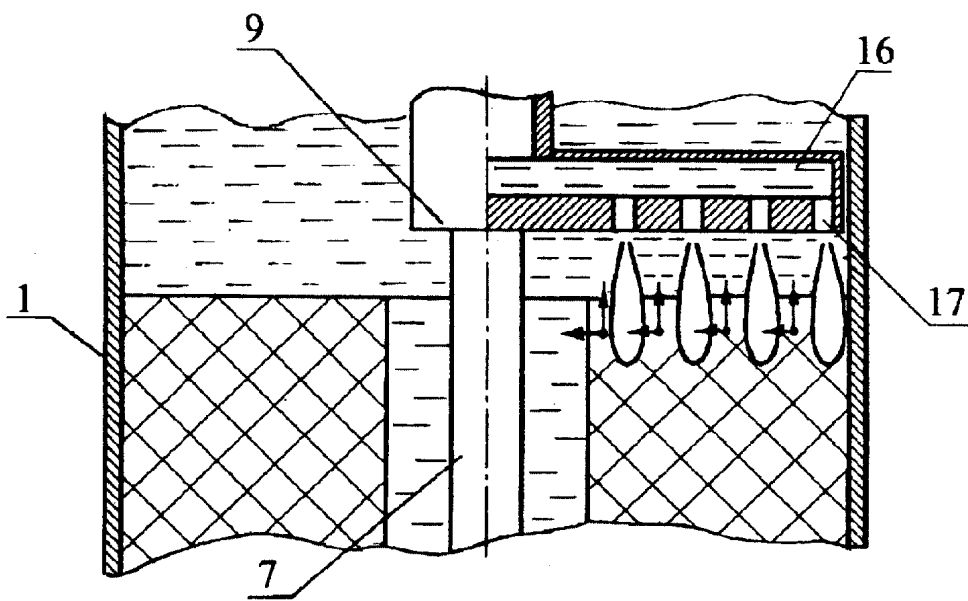


Фиг. 2



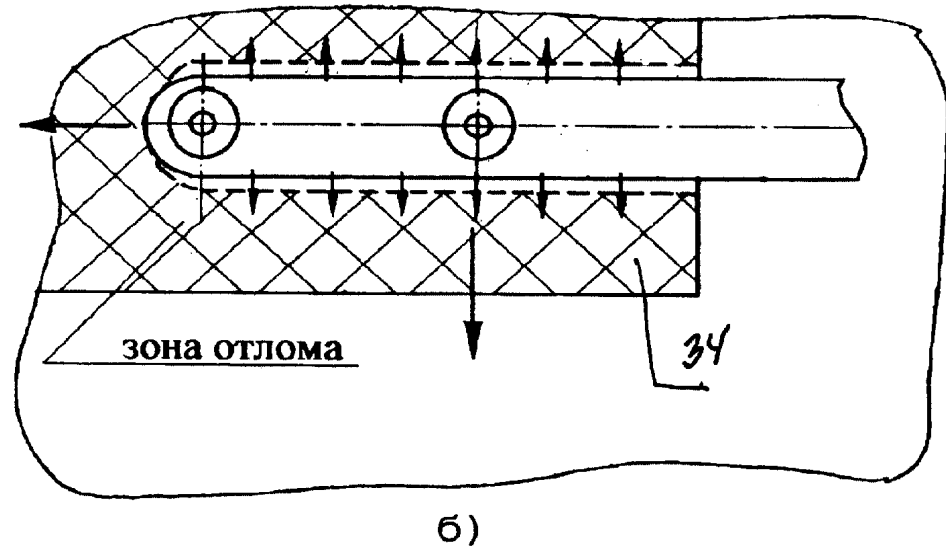
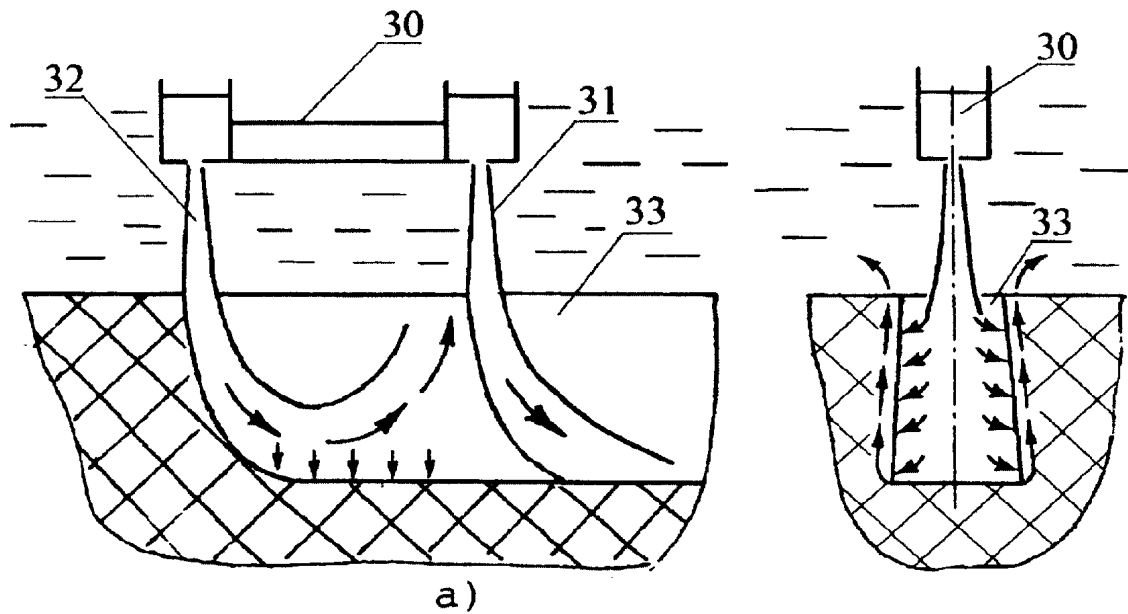


a)



б)

Фиг. 3



ФИГ. 4