



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010129868/28, 16.07.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
16.07.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.07.2010

(45) Опубликовано: 10.01.2012 Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2166186 C1, 27.04.2001. RU 2115905 C1, 20.07.1998. RU 2093716 C1, 20.10.1997. US 3418445 A, 24.12.1968. Шумский В.В. Комбинированный нагрев рабочего тела в газодинамических высокоэнтальпийных установках. Сибирский физико-технический журнал. 1993. Вып.2.

Адрес для переписки:

630090, г.Новосибирск, ул. Институтская, 4/1,  
Институт теоретической и прикладной  
механики им. С.А. Христиановича  
Сибирского отделения Российской академии  
наук (ИТПМ СО РАН)

(72) Автор(ы):

Ярославцев Михаил Иванович (RU),  
Фомин Василий Михайлович (RU),  
Маслов Анатолий Александрович (RU),  
Мещеряков Алексей Михайлович (RU),  
Пузырев Лев Николаевич (RU),  
Щумский Валентин Витальевич (RU),  
Соколовский Андрей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Институт теоретической и прикладной  
механики им. С.А. Христиановича  
Сибирского отделения Российской академии  
наук (ИТПМ СО РАН) (RU)

## (54) ИМПУЛЬСНАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТРУБА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области экспериментальной аэродинамики и может быть использовано для получения гиперзвукового потока газа в диапазоне чисел Маха 4-20 в лабораторных условиях. Труба содержит форкамеру с электродами, отделенную от газодинамического тракта трубы диафрагмой, и поршень, образующий дифференциальный мультипликатор, надпоршневое пространство которого соединено с источником толкающего газа, а подпоршневое заполнено демпфирующей жидкостью и соединено с дренированной емкостью. Также труба снабжена компенсатором динамической составляющей мультипликатора, быстродействующим клапаном запуска системы стабилизации, контактирующим через поршень

мультипликатора с полостью форкамеры. Корпус мультипликатора выполнен с возможностью разъема и при этом его надпоршневое пространство связано с ресивером толкающего газа через быстродействующий клапан запуска системы стабилизации, а подпоршневое пространство через гидравлический канал с регулируемой длиной с подпоршневым пространством компенсатора динамической составляющей мультипликатора. Форкамера снабжена стыковочным узлом и обратным клапаном для подключения соответственно импульсного высокоэнтальпийного адиабатического генератора и блока подачи смеси реагирующих газов и содержит устройство принудительного вскрытия диафрагмы, размещенное на выходе из форкамеры. Технический результат заключается в расширении экспериментальных

RU 2 4 3 9 5 2 3 C 1

RU 2 4 3 9 5 2 3 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2010129868/28, 16.07.2010**(24) Effective date for property rights:  
**16.07.2010**

Priority:

(22) Date of filing: **16.07.2010**(45) Date of publication: **10.01.2012 Bull. 1**

Mail address:

**630090, g.Novosibirsk, ul. Institutskaja, 4/1,  
Institut teoreticheskoy i prikladnoj mekhaniki  
im. S.A. Khristianovicha Sibirskogo otdelenija  
Rossijskoj akademii nauk (ITPM SO RAN)**

(72) Inventor(s):

**Jaroslavtsev Mikhail Ivanovich (RU),  
Fomin Vasilij Mikhajlovich (RU),  
Maslov Anatolij Aleksandrovich (RU),  
Meshcherjakov Aleksej Mikhajlovich (RU),  
Puzyrev Lev Nikolaevich (RU),  
Shchumskij Valentin Vital'evich (RU),  
Sokolovskij Andrej Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Institut teoreticheskoy i prikladnoj mekhaniki  
im. S.A. Khristianovicha Sibirskogo otdelenija  
Rossijskoj akademii nauk (ITPM SO RAN) (RU)**

(54) **PULSE ALTITUDE TUBE**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: proposed pulse altitude tube comprises prechamber with electrodes separated by membrane from tube hydrodynamic channel, and piston that forms a differential booster with its overpiston space is communicated with push-gas source while underpiston space is filled with damping fluid and communicated with draining tank. Besides, proposed tube comprises booster dynamic component compensator, fast-operation valve for starting stabilisation system communicating via booster piston with prechamber inner space. Booster split housing

has its overpiston space communicated via aforesaid fast-operation valve with push-gas receiver and its underpiston space communicated via adjustable length hydraulic channel with booster dynamic component compensator under piston inner space. Prechamber is equipped with joint assembly and check valve to connection of high-enthalpy adiabatic generator and reacting gas mix feed unit and comprises membrane forced opening device arranged at prechamber outlet.

EFFECT: expanded operating performances.

5 cl, 3 dwg

Изобретение относится к области экспериментальной аэродинамики и может быть использовано для получения гиперзвукового потока газа в диапазоне чисел Маха 4-20 в лабораторных условиях.

Для получения рабочего газа с предельно высокими параметрами торможения потока используются различные аэродинамические установки кратковременного действия. К ним относятся импульсные аэродинамические трубы [1], где нагрев газа в форкамере осуществляется электрической дугой при постоянной плотности, аэродинамические трубы с адиабатическим сжатием рабочего газа, которые разделяются на установки с тяжелым поршнем [2] и с мультипликаторами давления [3]. В этих трубах повышение давления и нагрев рабочего газа осуществляются адиабатическим сжатием за счет кинетической энергии поршня либо мультипликатором давления.

Все перечисленные установки характеризуются высоким уровнем технической сложности, эксплуатационной опасности в связи с возможными сбоями в управлении технологическими процессами, поскольку после запуска установки участие человека в дальнейших операциях исключается. В качестве примеров можно рассмотреть некоторые недостатки, характерные для таких труб.

Для импульсной трубы [1] отсутствие электродугового разряда при прохождении команды "пуск" приведет к запуску дифференциального мультипликатора и росту давления в форкамере из-за перемещения мультипликатора, разрыву диафрагмы и, соответственно, к самопроизвольному пробоем между электродами на этапе истечения рабочего газа через критическое сечение. В результате форкамера с мультипликатором давления выйдут из строя.

В адиабатической трубе с тяжелым поршнем [2] предусматривается использование помимо воздуха в качестве рабочего газа реакции разложения закиси азота в смеси с азотом ( $N_2O+N_2$ ), которая после разложения образует газ, эквивалентный воздуху, но с более высокой начальной температурой. Из опыта эксплуатации гиперзвуковой импульсной трубы ИТПМ СО РАН ИТ - 302М с применением смеси газов известно, что в каналах большого удлинения, аналогичных каналу адиабатической трубы с поршнем, закись азота, подогретая электрической энергией, детонирует даже в смеси с воздухом. Это серьезное ограничение на использование закиси азота  $N_2O$  в адиабатических установках с тяжелым поршнем. Кроме того, отсутствие системы стабилизации параметров рабочего газа при истечении через сопло ухудшает точность исследований.

Применение химических источников энергии для подогрева рабочего газа в [3] не предусмотрено технологическим процессом, что ограничивает возможности в моделировании высоких температур торможения.

Наиболее близким из известных решений к заявленному техническому решению является импульсная аэродинамическая труба [4]. Установка содержит разрядную камеру (форкамеру) с противоположно расположенными электродами, которая отделена от сопла, рабочей части основной диафрагмой. Разрядная камера содержит поршень, который образует дифференциальный мультипликатор. Надпоршневое пространство мультипликатора соединено с источником толкающего газа, а подпоршневое заполнено демпфирующей жидкостью и соединено посредством регулируемых сливных отверстий с дренированной емкостью.

Между большой ступенью поршня мультипликатора и емкостью с толкающим газом расположены нож и дополнительная диафрагма, отделяющая надпоршневое пространство от источника толкающего газа.

В предстартовом состоянии надпоршневое пространство заполнено сжатым газом невысокого давления с тем, чтобы скомпенсировать избыточную силу, действующую со стороны малой ступени мультипликатора при заполнении разрядной камеры рабочим газом. При этом мультипликатор, нож и дополнительная диафрагма находятся в соприкосновении друг с другом. При запуске установки происходит дуговой разряд в разрядной камере, давление и температура резко повышаются и мультипликатор под воздействием избыточной силы смещается в сторону дополнительной диафрагмы, перемещает нож и срезает диафрагму. Толкающий газ высокого давления (до 200 кг/см<sup>2</sup>) поступает в надпоршневое пространство и перемещает мультипликатор с постоянной скоростью. При этом рабочий газ с высоким давлением и температурой вытесняется из разрядной камеры в сопло.

Недостатками указанных технических решений является то, что при запуске возникают значительные динамические нагрузки, действующие на установку при старте поршня дифференциального мультипликатора. Кроме этого имеют место технические недостатки, связанные с балансировкой давлений в предстартовом состоянии между полостью разрядной камеры и полостью надпоршневого пространства, приводящие к преждевременному старту поршня из-за разрушения дополнительной диафрагмы и к возникновению критической ситуации. Применение химической энергии в качестве дополнительного источника нагрева рабочего газа невозможно из-за неуправляемого вскрытия основной диафрагмы (по давлению) и незавершенности по этой причине химической реакции.

Задачей предлагаемого технического решения является расширение экспериментальных возможностей импульсной аэродинамической трубы кратковременного действия путем увеличения диапазона реализуемых параметров торможения потока за счет использования различных источников нагрева рабочего газа [5] и стабилизации параметров потока в течение рабочего режима.

Использование изобретения позволит увеличить количество рабочего газа в форкамере, повысить температуру и давление и увеличить продолжительность рабочего режима или выходной диаметр сопла по сравнению с известными аэродинамическими трубами. Кроме этих качеств появится возможность сравнивать результаты исследований, полученные в одной установке при различных способах создания рабочего тела (газового потока) и при фиксированной геометрии газодинамического тракта трубы.

Поставленная задача достигается тем, что импульсная аэродинамическая труба содержит форкамеру с электродами, отделенную от газодинамического тракта трубы диафрагмой, и поршень, образующий дифференциальный мультипликатор, надпоршневое пространство которого соединено с источником толкающего газа, а подпоршневое заполнено демпфирующей жидкостью и соединено с дренированной емкостью, согласно изобретению труба снабжена компенсатором динамической составляющей мультипликатора, быстродействующим клапаном запуска системы стабилизации, контактирующим через поршень мультипликатора с полостью Б, форкамеры, причем корпус мультипликатора выполнен с возможностью разъема и при этом его надпоршневое пространство связано с ресивером толкающего газа через быстродействующий клапан запуска системы стабилизации, а подпоршневое пространство через гидравлический канал с регулируемой длиной с подпоршневым пространством компенсатора динамической составляющей мультипликатора, форкамера снабжена стыковочным узлом и обратным клапаном для подключения соответственно импульсного высокоэнтальпийного адиабатического генератора и

блока подачи смеси реагирующих газов и содержит устройство принудительного вскрытия диафрагмы, размещенное на выходе из форкамеры.

Компенсатор динамической составляющей мультипликатора выполнен в виде коаксиального поршня, надпоршневая часть которого связана с дренированной емкостью для слива жидкости при торможении, а подпоршневое пространство через гидравлический канал с подпоршневым пространством дифференциального мультипликатора.

Быстродействующий клапан запуска системы стабилизации содержит цилиндр с поршнем и заглушкой, установленный по оси корпуса клапана на пилонах и образующий кольцевой канал Д с корпусом клапана, при этом кольцевой канал Д связывает ресивер через сквозной цилиндрический канал с надпоршневым пространством дифференциального мультипликатора, а в цилиндре между заглушкой и поршнем образована полость Г, к которой подсоединена пневмотрасса с манометром, вентилем и электромагнитным клапаном.

Поршень мультипликатора содержит систему обратной связи, выполненную в виде канала высокого давления, один конец корпуса которого неподвижно закреплен на торце малой ступени поршня и сообщается с полостью Б форкамеры, а второй конец корпуса канала подвижно входит в пневмоцилиндр высокого давления, где расположен поршень со штоком, который через канал В во фланце корпуса мультипликатора взаимодействует с поршнем быстродействующего клапана запуска системы стабилизации.

Устройство управляемого вскрытия диафрагмы содержит корпус с поршнями, расположенными по его торцам с жидкостью между ними, при этом поршень, обращенный к диафрагме оснащен ножом и приводится в движение вторым поршнем, на который воздействует подрывное устройство, управляемое с пульта.

Конструктивное решение импульсной аэродинамической трубы, а именно последовательно расположенные ресивер с толкающим газом, компенсатор динамической составляющей поршня дифференциального мультипликатора, расположенный по оси трубы, быстродействующий пневмоклапан запуска системы стабилизации, взаимодействующий с полостью форкамеры через поршень со штоком, встроенные в поршень дифференциального мультипликатора, дифференциальный мультипликатор, подпоршневое пространство которого заполнено жидкостью, приводящей в действие систему компенсации динамики поршня дифференциального мультипликатора; форкамера с коаксиальными электродами, длина которой допускает адиабатическое сжатие рабочего газа и диафрагма с управляемым по времени вскрытием, при скоростях движения поршней системы компенсации и дифференциального мультипликатора задаются расходом жидкости, перетекающей из подпоршневого пространства мультипликатора в надпоршневое пространство поршня компенсатора динамической составляющей мультипликатора; быстроразъемный корпус мультипликатора, все это обеспечивает возможность решения многих экспериментальных задач в одной аэродинамической трубе.

Гиперзвуковая импульсная аэродинамическая труба кратковременного действия со стабилизацией параметров потока обеспечивает следующие режимы работы.

На режимах с адиабатическим сжатием:

1 - адиабатический нагрев воздуха;

2 - дуга + химическая энергия + адиабатический нагрев, например: дуга + воздух +  $N_2O + N_2$  (85%  $N_2O + 15\% N_2$ ) +  $H_2 + O_2$  или дуга +  $H_2 + O_2$  + воздух; возможно использование других горючих газов, например пропана  $C_3H_8$ .

На режимах без адиабатического сжатия (варианты работы в режиме стабилизации параметров потока):

3 - электрическая дуга + воздух;

4 - дуга + воздух + химическая энергия, например: дуга + воздух +  $N_2O$  +  $N_2$ .

Перечисленные признаки не выявлены в других технических решениях при изучении уровня данной области техники и, следовательно, техническое решение является новым.

На фиг.1 показана схема импульсной аэродинамической трубы кратковременного действия со стабилизацией параметров потока; на фиг.2 - схемы устройства запуска дифференцированного мультипликатора давления и быстродействующего клапана запуска системы стабилизации, на фиг.3 - схема узла управляемого вскрытия диафрагмы.

Импульсная аэродинамическая труба кратковременного действия со стабилизацией параметров потока содержит ресивер 1 с толкающим газом, манометром для контроля давления в баллоне и пневмотрассу с вентилем 2. К ресиверу 1 присоединен компенсатор 3 динамической составляющей движения поршня 4 дифференциального мультипликатора 5. Компенсатор 3 состоит из коаксиального поршня 6, сквозного цилиндрического канала 7, емкости 8 с крышкой для слива жидкости из полости А, используемой для торможения коаксиального поршня 6; пневмотрассы 9 с манометром и электромагнитного клапана двойного действия. Подпоршневое пространство 10 коаксиального поршня 6 с демпфирующей жидкостью соединено гидравлическим каналом с регулируемой длиной 11 с подпоршневым пространством 12 дифференциального мультипликатора давления 5. В верхней точке гидравлического канала 11 расположен небольшой дренированный объем 13 с обратным клапаном для выхода газовых пузырьков из демпфирующей жидкости. Гидравлический канал 11 выполнен с возможностью регулирования его длины, при необходимости удлинения или укорочения длины и имеет вентиль 14 для изменения площади проходного сечения.

Компенсатор 3 динамической составляющей мультипликатора через фланец 15 соединен с быстродействующим клапаном запуска системы стабилизации 16 (фиг.2). Быстродействующий клапан 16 с другой стороны присоединен через фланец 17 с каналом В к корпусу дифференциального мультипликатора давления 5.

Корпус дифференциального мультипликатора давления 5 выполнен разъемным и состоит из двух частей, которые соединены между собой быстроразъемным соединением. Подпоршневая часть корпуса через фланец 18 с лабиринтным уплотнением (не показано) присоединена к форкамере 19.

Форкамера 19 содержит пневмотрассу 20 с вентилем для заполнения сжатым воздухом полости Б, коаксиальные электроды 21 с конденсаторной батареей, вентиль 22 с манометром для контроля давления при зарядке форкамеры 19 сжатыми газами. Для заполнения форкамеры азотом и реагирующими газами через обратный клапан 23 используется стыковочный блок 24, к которому подведены пневмотрассы с вентилями от баллонов с азотом, закисью азота, пропаном, кислородом и водородом. Причем стыковочный блок 24 после заполнения форкамеры 19 смесью реагирующих газов перед запуском дистанционно отводится от трубы.

На корпусе форкамеры 19 также находятся стыковочный узел 25 с обратным клапаном для подсоединения импульсного высокоэнтальпийного адиабатического генератора 26.

Поршень мультипликатора 4 в предстартовом состоянии находится в крайнем

левом положении и может взаимодействовать с быстродействующим клапаном запуска системы стабилизации 16 через систему обратной связи. Схема взаимодействия показана на фиг.2.

5 Поршень мультипликатора 4 (фиг.2) состоит из малой ступени 27, большой ступени 28 поршня и системы обратной связи, обеспечивающей быстрое открытие пневмоклапана 16 (2-5 мс). Основная функция этой системы состоит в том, чтобы предотвратить включение в работу мультипликатора давления при отсутствии электродугового разряда в форкамере (отсутствие роста давления) либо при 10 незавершенности химической реакции (давление в форкамере не повысилось до определенного уровня). Система состоит из канала высокого давления 29, один конец цилиндрического корпуса которого неподвижно закреплен на торце малой ступени поршня 27 и сообщается с полостью Б форкамеры 19, а второй конец корпуса канала 15 подвижно входит в пневмоцилиндр высокого давления 30, где расположен поршень 31 со штоком 32. Шток 32 в предстартовом состоянии трубы через канал В большого сечения во фланце 17 корпуса мультипликатора давления 5 соприкасается (или находится вблизи) с поршнем 33 быстродействующего клапана (фиг.2). Поршень 20 размещен в цилиндре 34, расположенном по оси корпуса клапана на пилонах и образующем кольцевой канал Д с корпусом клапана 16. Через кольцевой канал Д толкающий газ из ресивера 1 по сквозному цилиндрическому каналу 7 подводится в надпоршневое пространство дифференциального мультипликатора 5. В цилиндре 34 между заглушкой 35 и поршнем 33 выполнена полость Г, к которой подсоединена пневмотрасса 36 с манометром, вентилем и электромагнитным клапаном.

25 Полость Б форкамеры 19 (фиг.1) перед началом работы трубы изолируется от дросселирующей камеры 37 и сопла 38 (газодинамического тракта трубы) с помощью диафрагмы 39 и устройства управляемого вскрытия 40 (фиг.2). Управляемое вскрытие диафрагмы необходимо при использовании химических источников энергии при 30 нагреве рабочего газа, с тем, чтобы реакция в форкамере завершилась полностью и только после окончания реакции произошло вскрытие диафрагмы при поступлении электрического сигнала с пульта управления (не показано). Обычно это время изменяется от нескольких миллисекунд до десятков миллисекунд.

35 При отсутствии химических источников энергии применяется диафрагма без устройства управляемого вскрытия, разрушающаяся под воздействием давления.

На фиг.3 схематично изображено устройство 40 управляемого (принудительного) 40 вскрытия диафрагмы 39, которое содержит корпус с поршнями 41 и 42, расположенными по его торцам с жидкостью между ними, при этом поршень 41, обращенный к диафрагме 39 оснащен ножом 43 и приводится в движение вторым поршнем 42, на который воздействует подрывное устройство 44, управляемое с пульта. Нож имеет квадратное сечение с тремя режущими кромками (не показано). Четвертая кромка заглублена внутрь ножа и не участвует во вскрытии диафрагмы.

45 При подаче электрического импульса на подрывное устройство 44 происходит подрыв порохового заряда. Давление между поршнем 42 и поджигающим устройством 44 резко возрастает и через поршень передается на жидкость между поршнями. Под воздействием давления в жидкости подвижный поршень 41 вместе с 50 ножом 43 смещаются вправо. Нож тремя режущими кромками надрезает по периметру диафрагму 39, которая под воздействием давления в форкамере вскрывается и отгибается по потоку вдоль четвертой кромки.

Материал и толщина диафрагмы подбираются такими, чтобы выдержать ожидаемое давление в форкамере (например, 1000 бар).



Работа импульсной трубы при числах Маха  $M=4-7$  осуществляется с использованием дросселирующей камеры 37, которая присоединяется к корпусу форкамеры 19. При экспериментах в диапазоне чисел  $M=8-20$  дросселирующая камера 37 не используется и сопло 38 непосредственно присоединяется к корпусу форкамеры 19. В связи с многовариантностью рабочих режимов универсальной гиперзвуковой импульсной аэродинамической трубы кратковременного действия со стабилизацией параметров потока рассмотрим каждый из них.

#### Пример 1

Работа импульсной аэродинамической трубы в режиме адиабатического нагрева рабочего газа.

Подготовка трубы к пуску предусматривает выполнение следующих операций (фиг.1, 2).

Перед экспериментом газодинамический тракт трубы, включая дросселирующую камеру 37, сопло 38, рабочую часть и выхлопную вакуумную емкость (не показано) изолируют от форкамеры 19 диафрагмой 39 без устройства управления вскрытием диафрагмы (отсутствует химический подогрев) и откачивают вакуумными насосами до давления  $\sim 10^{-2}$  мм рт. ст.

Полость Г быстродействующего клапана запуска системы стабилизации 16 заполняют сжатым газом, при этом поршень 33 смещается вправо и закрывает канал В во фланце 17.

Ресивер 1 через вентиль 2 заполняется воздухом до рабочего давления ( $50-200$  кг/см<sup>2</sup>), при этом одновременно заполняется и сквозной цилиндрический канал 7 вплоть до канала В.

Крышка емкости 8 закрывается и в полость А подается небольшое избыточное давление из пневмотрассы 9 с помощью электромагнитного клапана двойного действия (при отсутствии напряжения на клапане происходит сброс давления из полости А в атмосферу, при наличии напряжения - сброс давления прекращается, происходит наполнение полости А сжатым воздухом). При этом поршень 6 смещается вправо, вытесняя жидкость из подпоршневого пространства 10 коаксиального поршня 6, через гидравлический канал 11 в подпоршневое пространство 12 дифференциального мультипликатора давления 5. При прохождении жидкости через канал 11 обратный клапан дренированного объема 13 автоматически закрывается. Под воздействием давления жидкости поршень 4 дифференциального мультипликатора 5 смещается влево до крайнего положения. Крышка емкости 8 открывается. К корпусу форкамеры 19 (к узлу 25) пристыковывается импульсный адиабатический генератор высокоэнтальпийного газа 26. Вентиль 22 контроля уровня давления в полости Б форкамеры 19 закрывается.

Импульсная труба готова к пуску.

При запуске включается в работу импульсный адиабатический генератор 26 и полость Б форкамеры 19 через стыковочный узел 25 и обратный клапан заполняется рабочим газом при давлении  $\sim 200$  кг/см<sup>2</sup> и температуре  $\sim (1200-1500)$  К. При достижении расчетного давления в полости форкамеры Б, сила, действующая на поршень 31 (фиг.2) со штоком 32, превысит запирающее усилие, действующее на поршень 33 быстродействующего клапана запуска системы стабилизации 16 со стороны полости Г (давление запираения выбирается перед пуском трубы исходя из соотношения площадей поршней и давления в форкамере). Поршень 33 отойдет влево и приоткроет кольцевой канал Д, ширина которого определяется величиной хода поршня 31.

При этом толкающий газ через канал В во фланце 17 поступает в надпоршневое пространство дифференциального мультипликатора давления 5. Под воздействием давления толкающего газа поршень 33 быстродействующего пневмоклапана 16 отходит в крайнее левое положение и полностью открывает канал В во фланце 17 для 5 прохождения газа. Дифференциальный мультипликатор давления 5 начинает адиабатически сжимать рабочий газ в полости Б форкамеры 19 с постоянной скоростью до параметров, определяемых давлением толкающего газа, соотношением площадей большой 28 и малой 27 ступеней дифференциального поршня 4 и 10 нарастающим давлением в полости Б форкамеры 19. Величина постоянной скорости поршня 4 мультипликатора 5 выбирается исходя из расхода рабочего газа и задается расходом демпфирующей жидкости через гидравлический канал 11 вентилем 14 перед пуском. Одновременно со стартом поршня 4 дифференциального мультипликатора 5 под воздействием демпфирующей жидкости стартует коаксиальный поршень 6 15 системы компенсации динамической составляющей 3, который движется в обратную сторону. Масса коаксиального поршня 6 при настройке системы компенсации подбирается таким образом, чтобы не было отдачи на корпус трубы в момент старта поршня 4 дифференциального мультипликатора 5. При отсутствии системы 20 компенсации величина отдачи может достигать нескольких десятков тон.

На заключительном этапе сжатия рабочего газа в форкамере 19 диафрагма 39 (без устройства управляемого вскрытия) вскрывается под воздействием высокого давления и рабочий газ с постоянным расходом выжимается или в дросселирующую камеру 37 с соплом 38 при ( $M=4-7$ ), или напрямую в сопло 38 при эксперименте со скоростями 25  $M=8-20$ .

В конце рабочего цикла торможение поршня 4 дифференциального мультипликатора 5 осуществляется лабиринтным уплотнением, находящимся на большой ступени 28 поршня и на фланце 18.

30 Торможение коаксиального поршня 6 происходит на начальном этапе небольшим повышением давления в полости А (крышка емкости 8 открыта), а на конечном этапе с помощью жидкости, проходящей через лабиринтные уплотнения на коаксиальном поршне 6 и фланце 18. При этом жидкость перетекает в дренированную емкость 13.

#### Пример 2

35 Работа импульсной аэродинамической трубы в режиме дуга + химическая энергия + адиабатический нагрев (без импульсного генератора адиабатического нагрева 26).

Поскольку подготовка установки к пуску представлена в предыдущем разделе, здесь будет дано описание только тех изменений технологического процесса, которые 40 необходимы для реализации данного режима.

Поскольку в этом примере работы трубы используется химическая энергия, то форкамера изолируется от газодинамического тракта диафрагмой 39 с устройством управляемого вскрытия 40. От стыковочного узла 25 отсоединяется импульсный адиабатический генератор 26 (если он был подсоединен). При этом обратный клапан 45 стыковочного узла 25 герметично изолирует полость Б форкамеры 19 от внешней среды. Вентиль 22 для контроля давления в форкамере открыт.

К форкамере 19 через обратный клапан 23 присоединяется стыковочный блок 24 для заполнения полости Б форкамеры смесью заранее определенных типов газов. 50 Заполнение осуществляется дистанционно с пульта управления (не показано), включая также заполнение воздухом из пневмотрассы 20. Контроль давлений осуществляется манометром 22. После заполнения форкамеры 19 газами вентиль 20 закрывают, стыковочный блок 24 отводят дистанционно с пульта управления от

форкамеры, разрывая механическую связь с корпусом. Обратный клапан 23 автоматически закрывается при отводе стыковочного блока. Конденсаторная батарея 21 заряжается до необходимого напряжения.

5 При запуске трубы происходит разряд конденсаторной батареи 21 в форкамере 19 с выделением тепловой энергии. Время горения дуги ~1 мс. В процессе горения дуги водород (пропан  $C_3H_8$ ) воспламеняется, вступая в реакцию с кислородом, давление и температура смеси повышается. При достижении температуры (900-1200) К  
10 начинается реакция разложения закиси азота с выделением тепла. Продолжительность реакции составляет от нескольких миллисекунд до нескольких десятков миллисекунд, в зависимости от процентного содержания закиси азота в смеси. При достижении давления в форкамере, близкого к максимальному, усилие, действующее на поршень 31 со штоком 32 (фиг.2), превысит запирающее усилие со стороны полости Г и поршень 33 отойдет влево от седла корпуса быстродействующего клапана 16. Канал  
15 В откроется и толкающий газ поступит в надпоршневое пространство дифференциального мультипликатора 5.

Под воздействием давления толкающего газа поршень 33 быстродействующего пневмоклапана 16 отходит в крайнее левое положение и полностью открывает канал В  
20 для прохождения газа. Поршень 4 мультипликатора начнет адиабатически сжимать рабочий газ в полости Б с постоянной скоростью до параметров, определяемых давлением толкающего газа, соотношением площадей большой 28 и малой 27 ступеней дифференциального поршня 4 мультипликатора 5. Величина постоянной скорости поршня 4 дифференциального мультипликатора 5 выбирается исходя из  
25 расхода рабочего газа и задается расходом демпфирующей жидкости через гидравлический канал 11 вентилем 14 перед пуском.

Через промежуток времени с момента разряда конденсаторной батареи, включающий время реакции химических компонент (3-40) мс и (30-50)% времени  
30 движения поршня 4, подается сигнал на устройство 40 управляемого вскрытия диафрагмы 39 (фиг.3).

При подаче электрического импульса на поджигающее устройство 44 происходит подрыв порохового заряда. Давление между поршнем 42 и поджигающим  
35 устройством 44 резко возрастает и через поршень передается на жидкость между поршнями 41 и 42. Под воздействием давления в жидкости подвижный поршень 41 вместе с ножом 43 смещаются вправо. Нож тремя режущими кромками надрезает по периметру диафрагму 39, которая под воздействием давления в форкамере вскрывается и отгибается по потоку вдоль четвертой кромки.

40 Одновременно со стартом поршня 4 дифференциального мультипликатора под воздействием демпфирующей жидкости стартует коаксиальный поршень 6 компенсатора 3 динамической составляющей мультипликатора, который движется в обратную сторону. Торможение поршней 4, 6 на заключительном этапе работы описано в предыдущем примере.

45 **Пример 3**

Работа импульсной аэродинамической трубы в режиме дуга + воздух.

10 При подготовке трубы к работе в обычном классическом режиме (нагрев рабочего газа осуществляется только дугой), поршень 4 сдвигается вправо до упора и левая часть быстроразъемного корпуса мультипликатора 5 убирается. Фланец 17 левой  
50 части корпуса мультипликатора 5 с быстродействующим пневмоклапаном 16 и другими системами установки присоединяется к правой части корпуса мультипликатора 5. При этом укорачивается и гидравлический канал 11. После

5 выполнения этих операций в полость А при закрытой крышке емкости 8 подается избыточное давление с помощью клапана двойного действия 9. При этом коаксиальный поршень 6 и поршень 4 дифференциального мультипликатора 5 возвращается в предстартовое положение. Форкамера 19 изолируется от газодинамического тракта трубы 37 и 38 диафрагмой 39 без устройства управляемого вскрытия.

10 В принципе, величина фиксированного объема форкамеры 19 (полость Б) может выбираться в широких пределах за счет сменной левой части корпуса мультипликатора 5, исходя из величины максимальной энергии, запасаемой в конденсаторной батарее 21, и максимальных величин параметров торможения, которые необходимо реализовывать в конкретных задачах.

15 Вентилем 20 проводится заполнение полости Б сжатым воздухом. Конденсаторная батарея 21 заряжается до необходимого напряжения.

20 При запуске трубы происходит разряд конденсаторной батареи 21. Давление и температура газа в течение ~1 мс резко увеличиваются. Диафрагма 39 под воздействием давления вскрывается. Вскрытие обычно происходит в течение горения дуги, однако это не влияет практически на величину ожидаемых параметров торможения. Одновременно происходит запуск системы стабилизации параметров потока в форкамере 19 трубы (запуск поршня дифференциального мультипликатора 5). Зная величину ожидаемого давления в полости Б и задавая величины давления толкающего газа и расхода жидкости вентилем 14 через гидравлический канал 11 получаем стабилизированное по давлению и температуре истечение газа из форкамеры 19 в газодинамический тракт трубы.

#### Пример 4

30 Работа импульсной аэродинамической трубы в режиме дуга + воздух + химическая энергия.

Перед подготовкой трубы к пуску все системы приводятся в предстартовое состояние. Форкамера изолируется от газодинамического тракта диафрагмой 3 устройством управляемого вскрытия 40.

35 Стыковочный блок 24 подводится к форкамере 19 и механически соединяется через обратный клапан 23 с полостью Б. Форкамера 19 поочередно заполняется смесью газов, например закисью азота  $N_2O$  и  $N_2$  в соотношении 85%  $N_2O$ , 15%  $N_2$ . Аналогично может использоваться химическая энергия других компонент ( $H_2$ ,  $C_3H_8$ ). Далее происходит заполнение воздухом с помощью вентиля 20. Затем стыковочный блок 24 отводится от форкамеры, разрывая механическую связь с корпусом.

40 Производится зарядка конденсаторной батареи 21.

45 При запуске установки происходит разряд батареи 21, температура и давление газа увеличиваются. При достижении температуры (900-1200) К начинается реакция разложения закиси азота с выделением тепла. В результате разложения в сочетании с 15% азота образуется газ, эквивалентный нагретому воздуху. Продолжительность реакции разложения составляет от нескольких миллисекунд до нескольких десятков миллисекунд, в зависимости от процентного содержания закиси азота в смеси, и сопровождается ростом давления в полости Б. Продолжительность реакции определяется экспериментально без включения поршня 4 дифференциального мультипликатора 5 в работу.

50 При достижении давления в форкамере 19, близкого к максимальному при разложении закиси азота, усилие, действующее на поршень 31 со штоком 32 (фиг.2), превысит запирающее усилие со стороны полости Г и поршень 33 отойдет влево от

седла клапана 16. Канал В откроется и толкающий газ поступает в надпоршневое пространство дифференциального мультипликатора 5.

Одновременно с включением в работу поршня мультипликатора подается сигнал на устройство управляемого вскрытия 40 диафрагмы 39. При вскрытии диафрагмы рабочий газ с постоянным расходом вытесняется из форкамеры 19.

Конструктивное решение импульсной аэродинамической трубы позволило расширить ее экспериментальные возможности.

Источники информации

1. Патент США №3418445, кл. 73-147, 1968.

2. Патент РФ №2093716, МПК F15D 1/00, F15B 19/00, G01M 9/00.

3. Патент РФ №2115905, МПК G01M 9/00.

4. Авторское свидетельство СССР №1156462, G01M 9/00, 15.01.1985 г. - прототип.

5. Шумский В.В. Комбинированный нагрев рабочего тела в газодинамических высокоэнтальпийных установках. Сибирский физико-технический журнал. 1993. Вып.2.

#### Формула изобретения

1. Импульсная аэродинамическая труба, содержащая форкамеру с электродами, отделенную от газодинамического тракта трубы диафрагмой, и поршень, образующий дифференциальный мультипликатор, надпоршневое пространство которого соединено с источником толкающего газа, а подпоршневое заполнено демпфирующей жидкостью и соединено с дренированной емкостью, отличающаяся тем, что труба снабжена компенсатором 3 динамической составляющей мультипликатора 5, быстродействующим клапаном 16 запуска системы стабилизации, контактирующим через поршень 4 мультипликатора 5 с полостью Б, форкамеры 19, причем корпус мультипликатора 5 выполнен с возможностью разъема, и при этом его надпоршневое пространство связано с ресивером толкающего газа 1 через быстродействующий клапан 16 запуска системы стабилизации, а подпоршневое пространство через гидравлический канал с регулируемой длиной 11 с подпоршневым пространством компенсатора 3 динамической составляющей мультипликатора, форкамера 19 снабжена стыковочным узлом 25 и обратным клапаном 23 для подключения соответственно импульсного высокоэнтальпийного адиабатического генератора 26 и блока подачи смеси реагирующих газов 24 и содержит устройство принудительного вскрытия 40 диафрагмы 39, размещенное на выходе из форкамеры.

2. Импульсная аэродинамическая труба по п.1, отличающаяся тем, что компенсатор 3 динамической составляющей мультипликатора выполнен в виде коаксиального поршня, надпоршневая часть которого связана с дренированной емкостью 8 для слива жидкости при торможении, а подпоршневое пространство через гидравлический канал с регулируемой длиной 11 с подпоршневым пространством дифференциального мультипликатора 5.

3. Импульсная аэродинамическая труба по п.1, отличающаяся тем, что быстродействующий клапан 16 запуска системы стабилизации содержит цилиндр 34 с поршнем 33 и заглушкой 35, установленный по оси корпуса клапана на пилонах и образующий кольцевой канал Д с корпусом клапана 16, при этом кольцевой канал Д связывает ресивер через сквозной цилиндрический канал 7 с надпоршневым пространством дифференциального мультипликатора 5, а в цилиндре 34 между заглушкой 35 и поршнем 33 образована полость Г, к которой подсоединена пневмотрасса 36 с манометром, вентилем и электромагнитным клапаном.

4. Импульсная аэродинамическая труба по п.1, отличающаяся тем, что поршень

мультипликатора 4 содержит систему обратной связи, выполненную в виде канала высокого давления 29, один конец корпуса которого неподвижно закреплен на торце малой ступени поршня 27 и сообщается с полостью Б форкамеры 19, а второй конец корпуса канала подвижно входит в пневмоцилиндр высокого давления 30, где  
5 расположен поршень 31 со штоком 32, который через канал В во фланце 17 корпуса мультипликатора 5 взаимодействует с поршнем 33 быстродействующего клапана 16 запуска системы стабилизации.

5. Импульсная аэродинамическая труба по п.1, отличающаяся тем, что устройство  
10 управляемого вскрытия 40 диафрагмы 39 содержит корпус с поршнями 41, 42, расположенными по его торцам с жидкостью между ними, при этом поршень 41, обращенный к диафрагме 39, оснащен ножом 43 и приводится в движение вторым поршнем 42, на который воздействует подрывное устройство 44, управляемое с пульта.

15

20

25

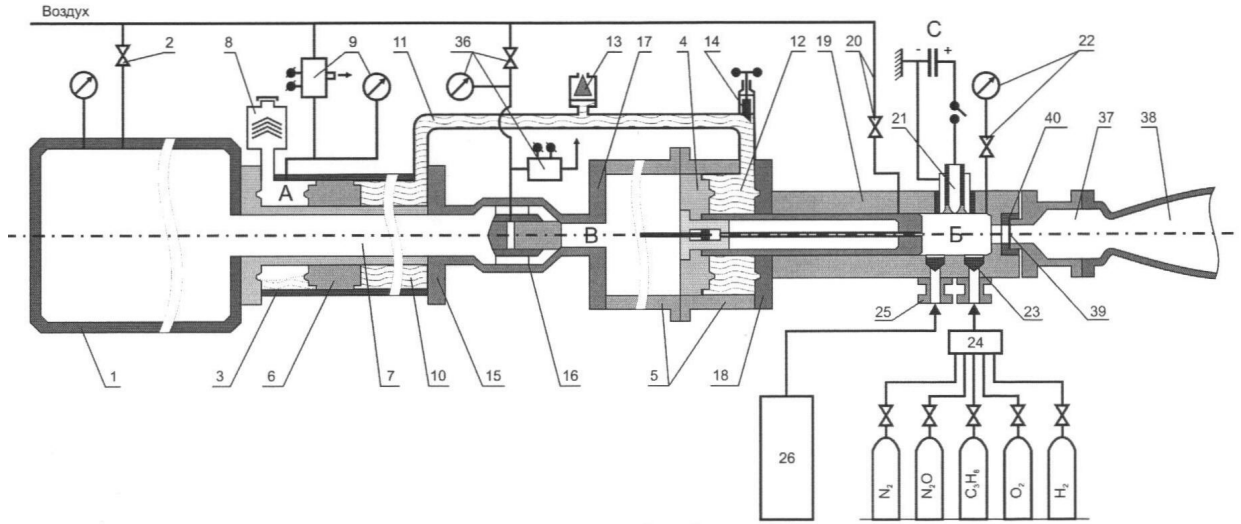
30

35

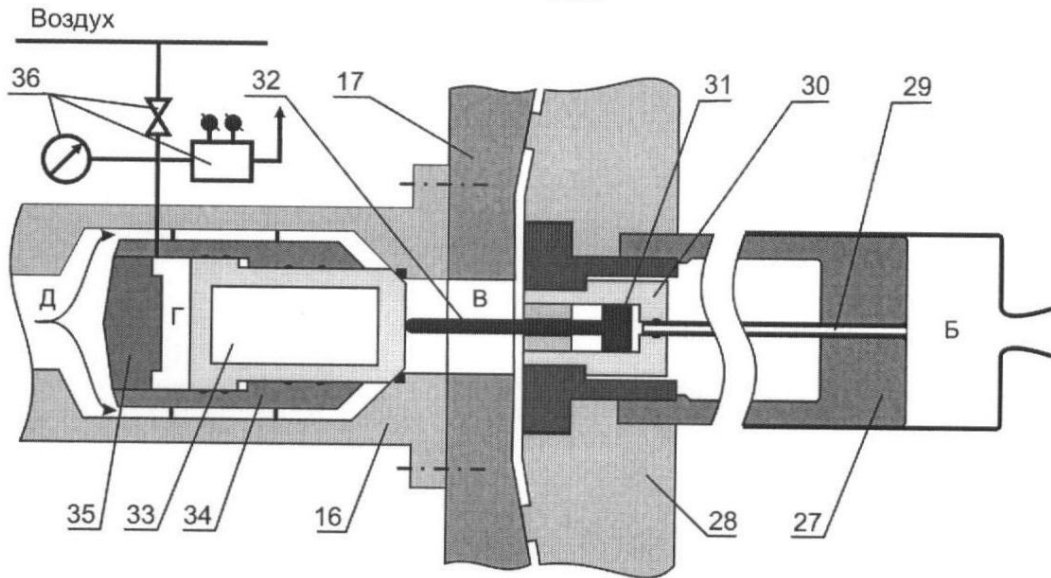
40

45

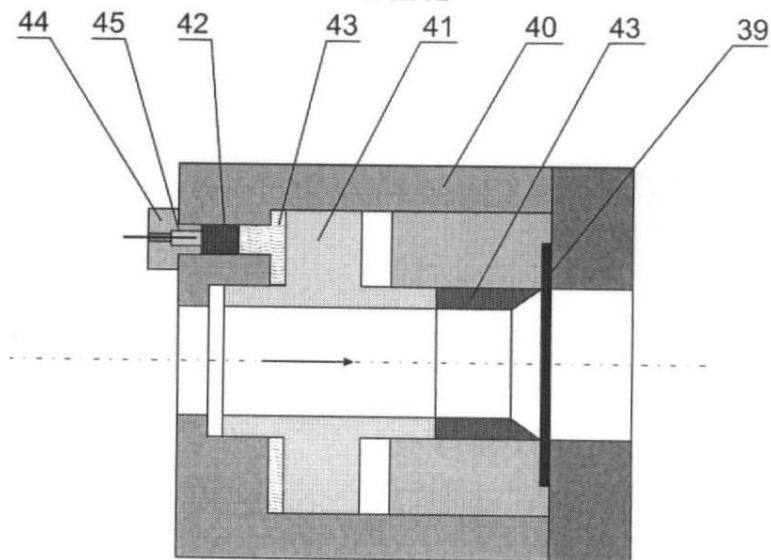
50



Фиг.1



Фиг.2



Фиг.3