

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В  
СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация  
Интеллектуальной Собственности  
Международное бюро



(10) Номер международной публикации  
**WO 2023/277724 A1**

(43) Дата международной публикации  
05 января 2023 (05.01.2023)

(51) Международная патентная классификация:  
F23C 15/00 (2006.01)

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2021/000282

(22) Дата международной подачи:  
02 июля 2021 (02.07.2021)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(72) Изобретатель; и

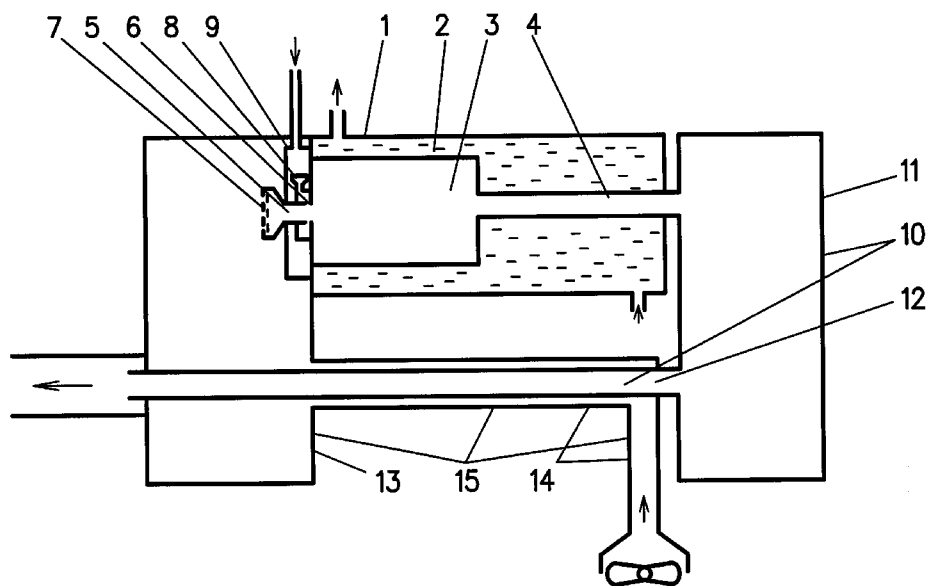
(71) Заявитель: ЯМИЛЕВ, Ильгиз Амирович  
(YAMILEV, Ilgiz Amirovich) [RU/RU]; 1-й Ботаниче-  
ский проезд, 5-3, Москва, 129323, Moscow (RU).

(74) Агент: ПИЛИШКИНА, Людмила Станиславовна  
(PILISHKINA, Liudmila Stanislavovna); Г-165, а/я 15,  
Москва, 121165, Moscow (RU).

(81) Указанные государства (если не указано иначе, для  
каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM,  
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ,  
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,  
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN,  
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,  
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,  
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: PULSATING COMBUSTION APPARATUS WITH INCREASED EFFICIENCY

(54) Название изобретения: АППАРАТ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ С ПОВЫШЕННЫМ КПД



Фиг. 1

(57) Abstract: The invention relates to the field of power engineering and can be used in heating systems, more particularly in water heaters or boilers, in recovery systems fuelled by the combustion of associated gas, and in electric power generating systems. A pulsating combustion apparatus comprises a combustion chamber, an air and hot gas feed device connected to the inlet of the combustion chamber, and at least one resonance tube is a first Helmholtz resonator containing a chamber and at last one tube, wherein the natural frequency of the first Helmholtz resonator is lower than the combustion pulsation frequency and the Q factor of the first Helmholtz resonator is higher than one. Connected directly or indirectly to the air and hot gas feed device is a second Helmholtz resonator containing a



WO 2023/277724 A1

(84) **Указанные государства** (если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Опубликована:**

— с отчётом о международном поиске (статья 21.3)

chamber and at last one tube, wherein the natural frequency of the second Helmholtz resonator is lower than the combustion pulsation frequency and the Q factor of the second Helmholtz resonator is higher than one. The invention allows an even greater increase in the efficiency of the apparatus.

(57) **Реферат:** Изобретение относится к области энергетики и может быть использовано в системах отопления, в частности в водонагревателях или бойлерах, в системах утилизации, работающих на сжигании попутного газа, в системах выработки электрической энергии. Аппарат пульсирующего горения содержит камеру сгорания, соединенное с входом камеры сгорания устройство подачи воздуха и горючего газа и соединенную с выходом камеры сгорания, по меньшей мере одну резонансную трубу. С выходом по меньшей мере одной резонансной трубы непосредственно или опосредованно соединен первый резонатор Гельмгольца, содержащий камеру и по меньшей мере одну трубу, при этом собственная частота первого резонатора Гельмгольца ниже частоты пульсации горения и добротность первого резонатора Гельмгольца выше единицы. С устройством подачи воздуха и горючего газа непосредственно или опосредованно соединен второй резонатор Гельмгольца, содержащий камеру и по меньшей мере одну трубу, при этом собственная частота второго резонатора Гельмгольца ниже частоты пульсации горения и добротность второго резонатора Гельмгольца выше единицы. Изобретение позволяет еще больше повысить КПД аппарата.

## Аппарат пульсирующего горения с повышенным КПД

### Область техники

Изобретение относится к области энергетики и может быть использовано в системах отопления, в частности в водонагревателях или бойлерах, в системах утилизации, работающих на сжигании попутного газа, в системах выработки электрической энергии.

### Предыдущий уровень техники

Широко известны устройства пульсирующего горения, содержащие камеру сгорания, запальное устройство, устройства подвода топлива, подвода воздуха и выхлопные каналы отвода продуктов сгорания. Такие устройства имеют высокий КПД, но создают значительный шум и вибрации. Предпринимаются попытки по дополнительному повышению КПД, кроме того, предпринимаются попытки по снижению шума и вибрации. Повышение КПД и проблема снижения шума и вибрации в устройствах пульсирующего горения решалась по-разному.

Известны глушители для компрессоров с пульсирующим расходом газа и им подобных устройств. В патенте US 2943641 описан глушитель на основе резонаторов Гельмгольца, коэффициент глушения зависит от отношения частоты шума к собственной частоте резонатора.

В устройстве пульсирующего горения по патенту US 4639208 для снижения уровня шума установлены звукопоглощающие материалы на пути от камеры сгорания до обратного клапана.

В устройстве пульсирующего горения по патенту US 4259928 в канале подачи воздуха применён глушитель, сопряженный с воздушным обратным клапаном, и кроме того, этот глушитель сам находится внутри ограждающей полости, которая расположена в сосуде с водой. В канале дымовых газов также установлен глушитель.

В устройстве пульсирующего горения по патенту US 4477246 содержится глушитель на подаче воздуха и глушитель отходящих дымовых газов, которые объединены в двухцилиндровый корпус, состоящий из внешнего и внутреннего цилиндров, которые разделены на низкочастотные и высокочастотные шумопонижающие камеры.

В устройстве пульсирующего горения по патенту US 4475621 ограждение воздушного клапана покрыто звукопоглощающим материалом, в канале отвода дымовых газов содержится теплообменник типа газ-газ.

В устройстве пульсирующего горения по патенту US 5020987 для снижения уровня шума применён усовершенствованный обратный механический клапан газовой среды, позволяющий понизить амплитуду колебаний давления в камере сгорания.

В устройстве пульсирующего горения по патенту US4919085 в канале отвода дымовых газов установлен глушитель, состоящий из двух камер, соединенных трубой. Для повышения КПД устройства пульсирующего горения и для снижения уровня шума\ указанные полости размещают в сосуде с теплоносителем. В канале подачи воздуха установлен глушитель, с одной стороны связанный с вентилятором, с другой стороны с воздушной камерой, ограждающей воздушный клапан

и имеющей внутреннюю и наружную стенки, пространство между которыми заполнено песком.

Наиболее близким к предложенному аппарату является устройство пульсирующего горения, в котором в канале отвода дымовых газов и в канале подачи воздуха применяются резонаторы Гельмгольца с собственной резонансной частотой ниже частоты рабочих пульсаций горения для повышения КПД и снижения уровня шума. Дополнительно КПД повышается расположением труб резонаторов Гельмгольца дымового канала внутри труб резонаторов Гельмгольца подачи воздуха и/или расположением труб резонаторов Гельмгольца подачи воздуха внутри труб резонаторов Гельмгольца дымового канала (WO 2020117087, опуб. 11.06.2020).

### **Сущность изобретения**

Технической проблемой, решаемой изобретением, является дальнейшее повышение КПД устройства пульсирующего горения.

### **Перечень чертежей**

На Фиг. 1 показан предложенный аппарат с расположением трубы резонатора Гельмгольца дымового канала в трубе резонатора Гельмгольца воздушного канала.

На Фиг. 2 показан предложенный аппарат с расположением нескольких труб резонатора Гельмгольца дымового канала в трубе резонатора Гельмгольца воздушного канала.

На Фиг. 3 показан предложенный аппарат с расположением нескольких труб резонатора Гельмгольца воздушного канала в трубе резонатора Гельмгольца дымового канала.

На Фиг. 4 показан график зависимости КПД аппарата от площади теплообмена между потоком дымовых газов и потоком воздуха.

На Фиг. 5 показан предложенный аппарат с отверстием в камере резонатора Гельмгольца, которое уменьшает добротность резонатора Гельмгольца.

На Фиг. 6 показан фрагмент предложенного аппарата с элементом, улучшающий запуск аппарата пульсирующего горения.

### **Примеры предпочтительных вариантов осуществления изобретения**

На Фиг. 1 устройство пульсирующего горения содержит помещенные в сосуд 1 с теплоносителем 2 камеру 3 сгорания и соединенную с камерой 3 сгорания резонансную трубу 4. С камерой 3 сгорания соединен узел раздельной подачи воздуха и горючего газа, содержащий воздуховод 5 с отверстиями 6 для прохода горючего газа. С узлом подачи воздуха и горючего газа соединены обратный клапан 7 воздуха и обратный клапан 8 горючего газа. Обратный клапан 8 горючего газа располагается в камере 9 ограждения. После резонансной трубы 4 установлен первый резонатор 10 Гельмгольца, образованный дымовой камерой 11 и расположенной после нее дымовой трубой 12. Резонатор 10 Гельмгольца имеет собственную резонансную частоту ниже частоты пульсаций горения и добротность не ниже 1. Узел подачи воздуха и горючего газа расположен в воздушной камере 13, с которой

соединена воздушная труба 14. Камера 13 и труба 14 образуют второй резонатор 15 Гельмгольца, который также имеет собственную резонансную частоту ниже частоты пульсаций горения и добротность не ниже 1. Дымовая труба 12 расположена в воздушной трубе 14. Камера 11 соединена с резонансной трубой 4 непосредственно. Воздушная камера 13 соединена с узлом подачи воздуха и газа через обратный клапан 7 воздуха.

КПД устройства пульсирующего горения зависит от температуры дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу. Чем ниже эта температура, тем выше КПД. Температура воздуха, поступающего на горение ниже температуры теплоносителя, поэтому наличие теплообмена между воздушным и дымовым потоками понижает температуру дымовых газов на выходе, что повышает КПД, как указано в WO2020117087. Увеличение площади теплообмена между воздушным и дымовым потоками приводит к дополнительному повышению КПД.

Для повышения КПД можно увеличить площадь теплообмена, для чего увеличить площадь поперечного сечения и длину труб 12 и 14. Однако этот метод имеет ограничение, связанное с тем, что в таком случае снижается скорость потоков, что уменьшает эффективность теплообмена между трубами и потоками дыма и воздуха. Кроме того, при увеличении длины труб в них могут возникать стоячие волны, что нарушает режим работы устройства пульсирующего горения. Данный метод повышает КПД, но не позволяет получить максимально возможный результат от повышения площади теплообмена между потоками дыма и воздуха.

На Фиг. 2 первый резонатор 16 Гельмгольца, образованный камерой 17 и расположенными после нее дымовыми трубами 18, имеет собственную резонансную частоту ниже частоты пульсаций горения и добротность не ниже 1, и второй резонатор 19 Гельмгольца, образованный воздушной камерой 20 и соединенной с ней воздушной трубой 21, также имеет собственную резонансную частоту ниже частоты пульсаций горения и добротность не ниже 1. Дымовые трубы 18 расположены внутри воздушной трубы 21. Такая конструкция позволяет значительно увеличить площадь теплообмена между потоками дыма и воздуха без понижения скорости потоков и не создавая условий для стоячих волн в трубах 18 и 21. Узел подачи воздуха и горючего газа состоит из камеры 22 предварительного смешивания и канала 23 горючей смеси. С узлом подачи воздуха и газа соединены обратный клапан 24 воздуха и обратный клапан 25 горючего газа. При предварительном смешивании воздуха и горючего газа нужно защищать обратные клапаны от перегрева и контролировать фазу начала горения относительно колебаний давления в камере 26 сгорания. Для этого могут быть установлены пламегасители 27, как в US 5106292, гасители волны горения, как в JPH 03225101, формирователь задержки горения, как в FR 0856440. Камера 17 соединена с резонансной трубой 28 непосредственно. Камера 20 соединена с узлом подачи воздуха и горючего газа посредством обратного клапана 24 воздуха.

На Фиг. 3 первый резонатор 29 Гельмгольца, образованный дымовой камерой 30 и расположенной после нее дымовой трубой 31, имеет собственную резонансную частоту ниже частоты пульсаций горения и добротность не ниже 1. Вторым резонатором 32 Гельмгольца, образованный воздушной камерой 33 и соединенными с ней



воздушными трубами 34, имеет собственную резонансную частоту ниже частоты пульсаций горения и добротность не ниже 1. Обратный клапан 35 воздуха может иметь на входе и выходе камеры, как в JPН03225101А. Камера с трубой (или камеры, соединенные трубами) образуют третий резонатор 36 (резонаторы) Гельмгольца с собственной резонансной частотой выше частоты пульсаций горения, а камеры, соединенные отверстиями, образуют фильтры 37 нижних частот. Воздушные трубы 34 расположены внутри дымовой трубы 31. Такое решение позволяет получить повышение КПД такое же, как конструкция, показанная на Фиг. 2. Дымовая камера 30 соединена с резонансными трубами 38 посредством переходного элемента 39, который может представлять собой фильтр нижних частот в виде камеры с выходным отверстием, либо может представлять собой четвертый резонатор Гельмгольца с резонансной частотой выше частоты пульсаций горения в виде камеры и патрубка (на фиг. 3 не указаны). Воздушная камера 33 соединена с узлом подачи воздуха и газа посредством резонаторов 36, обратного клапана 35 воздуха и фильтров нижних частот 37.

Увеличение площади теплообмена приводит к увеличению сопротивления труб резонаторов Гельмгольца. Это приводит к снижению добротности резонаторов. Уменьшение добротности резонатора Гельмгольца увеличивает потери энергии колебаний. Как указано в WO2020117087, потенциальная энергия рабочих колебаний горения распределяется между камерой сгорания и камерой резонатора Гельмгольца дымового канала обратно пропорционально объемам камер. Потери энергии колебаний в резонаторе Гельмгольца дымового канала являются потерями части энергии рабочих колебаний горения.

Это приводит к снижению добротности рабочего резонатора горения. Как указано в WO2020117087, рабочий пульсатор (резонатор горения, образованный камерой сгорания и резонансными трубами) имеет запас добротности из-за ограничения амплитуды колебаний давления в камере сгорания углом начала горения, при этом добротность рабочего пульсатора больше 1. Если с учетом потерь в дымовом резонаторе Гельмгольца добротность рабочего пульсатора становится ниже добротности, ограниченной углом начала горения, то теплообмен между рабочим пульсатором и теплоносителем уменьшается, что приводит к снижению КПД рабочего пульсатора. Оптимальной площадью теплообмена является такая площадь, при которой сумма КПД рабочего пульсатора и добавленное КПД теплообменом между трубами дымового и воздушного каналов имеет максимальное значение.

На Фиг. 4 показан график зависимости КПД от площади теплообмена между дымовым потоком и потоком воздуха. Линия 40 показывает КПД рабочего пульсатора без ограничения добротности углом начала горения. Линия 41 показывает КПД рабочего пульсатора при ограничении добротности углом начала горения. Линия 42 показывает увеличение КПД теплообменом между дымовым потоком и потоком воздуха. Линия 43 показывает суммарное значение КПД рабочего пульсатора и добавки КПД теплообменом между дымовым потоком и потоком воздуха. Оптимальная площадь теплообмена между дымовым потоком и потоком воздуха показана указателем 44.

При увеличении площади теплообмена между дымовым потоком и воздушным потоком растет сопротивление труб резонатора Гельмгольца воздушного канала. Сопротивление труб резонаторов Гельмгольца воздушного канала определяет необходимый средний

перепад давления воздуха между атмосферой и камерой сгорания, который необходим для рабочего расхода воздуха для горения. При большом сопротивлении не обеспечивается необходимый расход воздуха на горение. Воздух в камеру сгорания поступает пульсациями расхода. Поэтому резонаторы Гельмгольца воздушного канала должны иметь потери энергии колебаний не выше определенной величины, соответственно резонаторы Гельмгольца воздушного канала должны иметь добротность не ниже определенной величины.

Добротность резонатора Гельмгольца отражает отношение энергии колебаний к потере энергии колебаний. Потери энергии колебаний резонатора Гельмгольца состоят из потери кинетической энергии на активном сопротивлении резонансных труб и из потери потенциальной энергии давления в камере. Потенциальная энергия давления происходит при наличии в камере отверстий или щелей. Например, в камерах резонаторов Гельмгольца дымовых газов могут быть отверстия для соединения с системой слива конденсата. На Фиг. 5 в дымовой камере 45 есть отверстие 46 для подключения трубы 47 системы слива конденсата, которое снижает добротность резонатора 48 Гельмгольца, образованного дымовой камерой 45 и дымовой трубой 49. Большое падение добротности резонатора 48 Гельмгольца с отверстием 46 может привести к падению КПД рабочего пульсатора даже без использования теплообмена между потоком дыма и потоком воздуха. Дымовая камера 45 резонатора 48 Гельмгольца, образованного дымовой камерой 45 и дымовой трубой 49, соединена с резонансной трубой 50 непосредственно. Воздушная камера 51 резонатора 52 Гельмгольца, образованного воздушной камерой 51 и воздушной трубой 53, соединена с узлом подачи воздуха и газа посредством обратного

клапана 54 воздуха. Перегородка 55 является стенкой камеры 51 и одновременно стенкой камеры 45.

Высокий КПД достигается высокой добротностью рабочего пульсатора. При высокой добротности пульсатора при продувке создается мало турбулентных вихрей, плохо перемешивается горючий газ и воздух, поэтому сложно получить на свече зажигания горючую смесь в нужное время. Запуск аппарата пульсирующего горения является затруднительным. Для улучшения стабильности запуска можно применить решение, приведенное на Фиг. 6. В камеру 56 сгорания воздух из камеры 57 воздушного резонатора Гельмгольца поступает через обратный клапан 58 воздуха и воздуховод 59. Горючий газ в камеру 56 сгорания поступает через обратный клапан 60 газа и щели 61. Часть 62 воздушного потока перемешивается с горючим газом и отбрасывается направляющими элементами 63 к свечам зажигания 64.

Направляющий элемент 63 состоит из двух стенок, одна из которых расположена с зазором относительно воздуховода, а другая установлена с зазором относительно камеры 56 сгорания. Упомянутые стенки соединены с воздуховодом 59 и камерой 56 сгорания ребром, расположенным радиально относительно воздуховода 59.

Для расчета добротности рабочего пульсатора, резонаторов Гельмгольца и необходимых для этого параметром используются приведенные ниже уравнения.

Добротность рабочего пульсатора (резонатора) с учетом добротности дымового резонатора Гельмгольца равна:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{V_1 + V_2} \frac{1}{Q_2}} \quad (1)$$

где  $Q$  - добротность рабочего пульсатора с учетом потерь в дымовом резонаторе,

$Q_1$  - добротность рабочего пульсатора без дымового резонатора,

$Q_2$  - добротность дымового резонатора Гельмгольца,

5  $V_1$  - объем камеры сгорания,  $m^3$ ,

$V_2$  - объем камеры дымового резонатора,  $m^3$ .

В WO 2020117087 указывалось, что добротность резонатора Гельмгольца равна:

$$Q_R = \frac{X_L}{R} \quad (2)$$

10 где  $Q_R$  - добротность резонатора Гельмгольца,

$X_L$  - сопротивление суммарной акустической индуктивности  $L$  одной или нескольких труб колебаниям с резонансной частотой  $f_0$ ,  $Pa \cdot сек / m^3$ ,

$R$  - суммарное активное сопротивление одной или нескольких труб,  $Pa \cdot сек / m^3$ .

15 Камера резонатора Гельмгольца может иметь отверстия или щели, например, для слива конденсата. Тогда, кроме потерь энергии колебаний на сопротивлении труб, будет также потери энергии давления к камере. Добротность такого резонатора Гельмгольца равна:

$$Q_R = \frac{X_L}{R_1} \frac{R_2}{X_C + R_2} \quad (3)$$

20 где  $Q_R$  - добротность резонатора Гельмгольца,

$X_L$  - сопротивление суммарной акустической индуктивности  $L$  одной или нескольких труб колебаниям с резонансной частотой  $f_0$ ,  $Pa \cdot сек / m^3$ ,

$X_c$  - сопротивление акустической емкости камеры колебаниям с резонансной частотой  $f_0$ ,  $Па \cdot сек / м^3$ ,

$R_1$  - суммарное активное сопротивление одной или нескольких труб,  $Па \cdot сек / м^3$ .

5  $R_2$  - суммарное активное сопротивление отверстий и/или щелей камеры,  $Па \cdot сек / м^3$ .

В WO 2020117087 также указывалось, что сопротивление камеры резонатора Гельмгольца с акустической емкостью  $c$  колебаниям с частотой  $f$  равно:

$$10 \quad X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (4)$$

где  $X_c$  - сопротивление акустической емкости  $c$  колебаниям с частотой  $f$ ,  $Па \cdot сек / м^3$ ,

$f$  - частота колебаний, Гц,

$C$  - акустическая емкость,  $м^3 / Па$ .

15 В WO 2020117087 также указывалось, что сопротивление труб резонатора Гельмгольца с суммарной акустической индуктивностью  $L$  колебаниям с частотой  $f$  равно:

$$X_L = 2\pi f L \quad (5)$$

20  $X_L$  - сопротивление акустической индуктивности  $L$  колебаниям с частотой  $f$ ,  $Па \cdot сек / м^3$ ,

$f$  - частота колебаний, Гц,

$L$  - акустическая индуктивность,  $\text{Па} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}^3$ .

В WO 2020117087 также указывалось, что камера имеет свойства акустической емкости, равной:

$$5 \quad C = \frac{V}{\gamma \cdot P_0} \quad (6)$$

где  $C$  - акустическая емкость,  $\text{м}^3 / \text{Па}$ ,

$\gamma$  - коэффициент адиабаты,

$P_0$  - среднее давление в камере,  $\text{Па}$ ,

$V$  - объем камеры,  $\text{м}^3$ .

10 В WO 2020117087 также указывалось, что труба имеет свойство акустической индуктивности, равной:

$$L = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (7)$$

где  $L$  - акустическая индуктивность,  $\text{Па} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}^3$ ,

$\rho$  - плотность газа в трубе,  $\text{кг} / \text{м}^3$ ,

15  $l$  - длина трубы,  $\text{м}$ ,

$A$  - площадь поперечного сечения трубы, для нескольких труб сумма площадей поперечного сечения труб,  $\text{м}^2$ .

Суммарная индуктивность нескольких параллельных труб одинаковой индуктивности:

$$L = \frac{L_1}{n} \quad (8)$$

где  $L$  - суммарная акустическая индуктивность,  $\text{Па} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}^3$ ,

$L_1$  - акустическая индуктивность одной трубы,  $\text{Па} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}^3$ ,

$n$  – количество параллельных труб одинаковой индуктивности.

5

Суммарная индуктивность нескольких параллельных труб разной индуктивности вычисляется с учетом суммарной индуктивности двух параллельных труб:

$$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} \quad (9)$$

10 где  $L$  - суммарная акустическая индуктивность,  $\text{Па} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}^3$ ,

$L_1, L_2$  - акустическая индуктивность параллельных труб,  $\text{Па} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}^3$ ,

В WO 2020117087 также указывалось, что активное сопротивление трубы равно:

$$R = \chi \rho \frac{1}{2} \frac{q}{A} \quad (10)$$

15 где  $R$  - активное сопротивление трубы,  $\text{Па} \cdot \text{сек} / \text{м}^3$ ,

$q$  - расход газа,  $\text{м}^3 / \text{сек}$ ,

$\chi$  - сумма аэродинамических коэффициентов сопротивления трубы: входа, выхода, по длине и местных, например, поворотов,

$\rho$  - плотность газа,  $\text{кг} / \text{м}^3$ ,

20  $A$  - площадь поперечного сечения трубы,  $\text{м}^2$ .

Активное сопротивление отверстия или щели равно:

$$R = \chi \rho \frac{1}{2} \frac{q}{A} \quad (11)$$



где  $R$  - активное сопротивление отверстия или щели,  $Па \cdot сек / м^3$ ,

$Q$  - расход газа,  $м^3 / сек$ ,

$\chi$  - аэродинамический коэффициент сопротивления отверстия или щели, равный 0,5.

5  $\rho$  - плотность газа,  $кг / м^3$ ,

$A$  - площадь поперечного сечения трубы,  $м^2$ .

Суммарное активное сопротивление нескольких одинаковых параллельных сопротивлений:

$$R = \frac{R_1}{n} \quad (12)$$

10 где  $R$  - суммарное активное сопротивление,  $Па \cdot сек / м^3$ ,

$R_1$  - активное сопротивление каждого параллельного активного сопротивления,  $Па \cdot сек / м^3$ ,

$n$  – количество параллельных труб одинаковой индуктивности.

Суммарное активное сопротивление нескольких разных параллельных сопротивлений вычисляется с учетом суммарного активного сопротивления двух параллельных разных сопротивлений:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (13)$$

где  $R$  - суммарное активное сопротивление,  $Па \cdot сек / м^3$ ,

$R_1, R_2$  - параллельные активные сопротивления,  $Па \cdot сек / м^3$ ,

20 Таким образом, предложенное изобретение обеспечивает повышение КПД аппарата пульсирующего горения путем использования баланса между добротностью, активным сопротивлением, потерей давления.

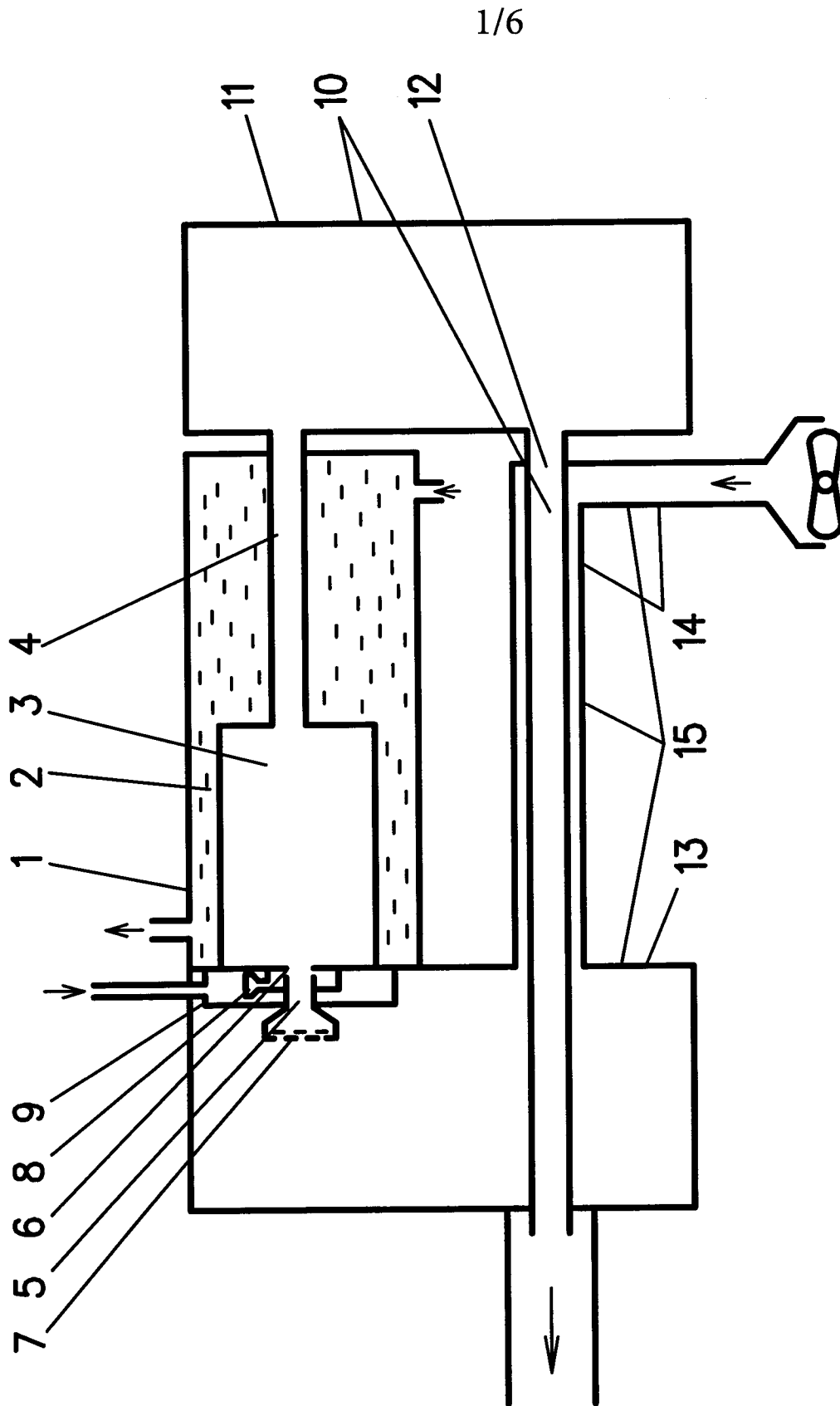
### Формула изобретения

1. Аппарат пульсирующего горения, содержащий камеру сгорания, соединенное с входом камеры сгорания устройство подачи воздуха и горючего газа и соединенную с выходом камеры сгорания, по меньшей мере одну резонансную трубу, при этом с выходом по меньшей мере одной резонансной трубы непосредственно или опосредованно соединен первый резонатор Гельмгольца, содержащий камеру и по меньшей мере одну трубу, собственная частота первого резонатора Гельмгольца ниже частоты пульсации горения и добротность первого резонатора Гельмгольца выше единицы, с устройством подачи воздуха и горючего газа непосредственно или опосредованно соединен второй резонатор Гельмгольца, содержащий камеру и по меньшей мере одну трубу, собственная частота второго резонатора Гельмгольца ниже частоты пульсации горения и добротность второго резонатора Гельмгольца выше единицы.
2. Аппарат по п.1, в котором по меньшей мере одна труба второго резонатора Гельмгольца, расположена внутри трубы первого резонатора Гельмгольца.
3. Аппарат по п.1, в котором по меньшей мере одна труба первого резонатора Гельмгольца, расположена внутри трубы второго резонатора Гельмгольца.
4. Аппарат по п.1, в котором второй резонатор Гельмгольца соединен с устройством подачи воздуха и горючего газа посредством фильтра нижних частот.
5. Аппарат по п.1, в котором второй резонатор Гельмгольца соединен с устройством подачи воздуха и горючего газа посредством третьего

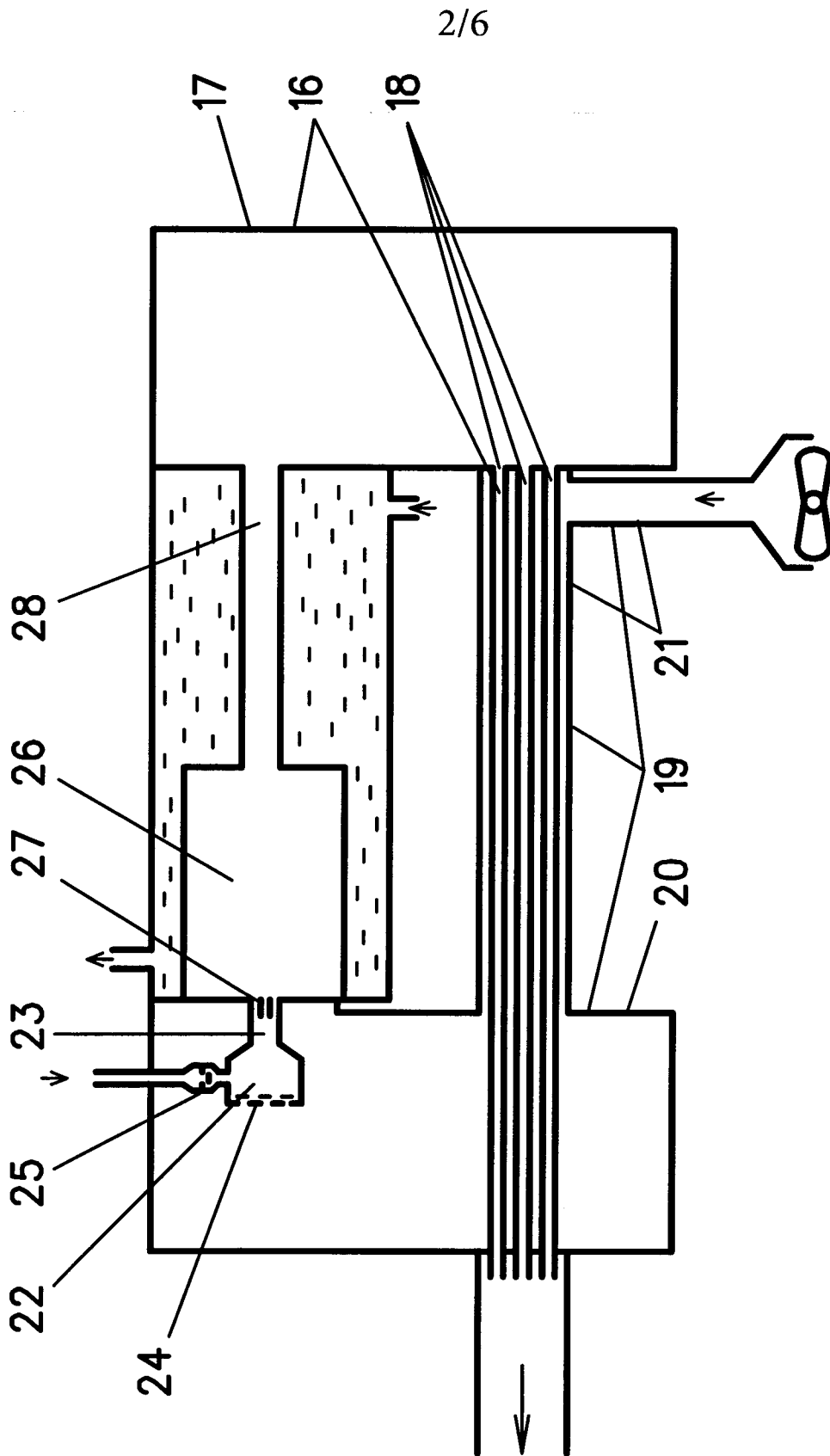
резонатора Гельмгольца с резонансной частотой выше частоты пульсаций горения

6. Аппарат по п.1, в котором первый резонатор Гельмгольца соединен с выходом по меньшей мере одной резонансной трубы посредством  
5 фильтра нижних частот.

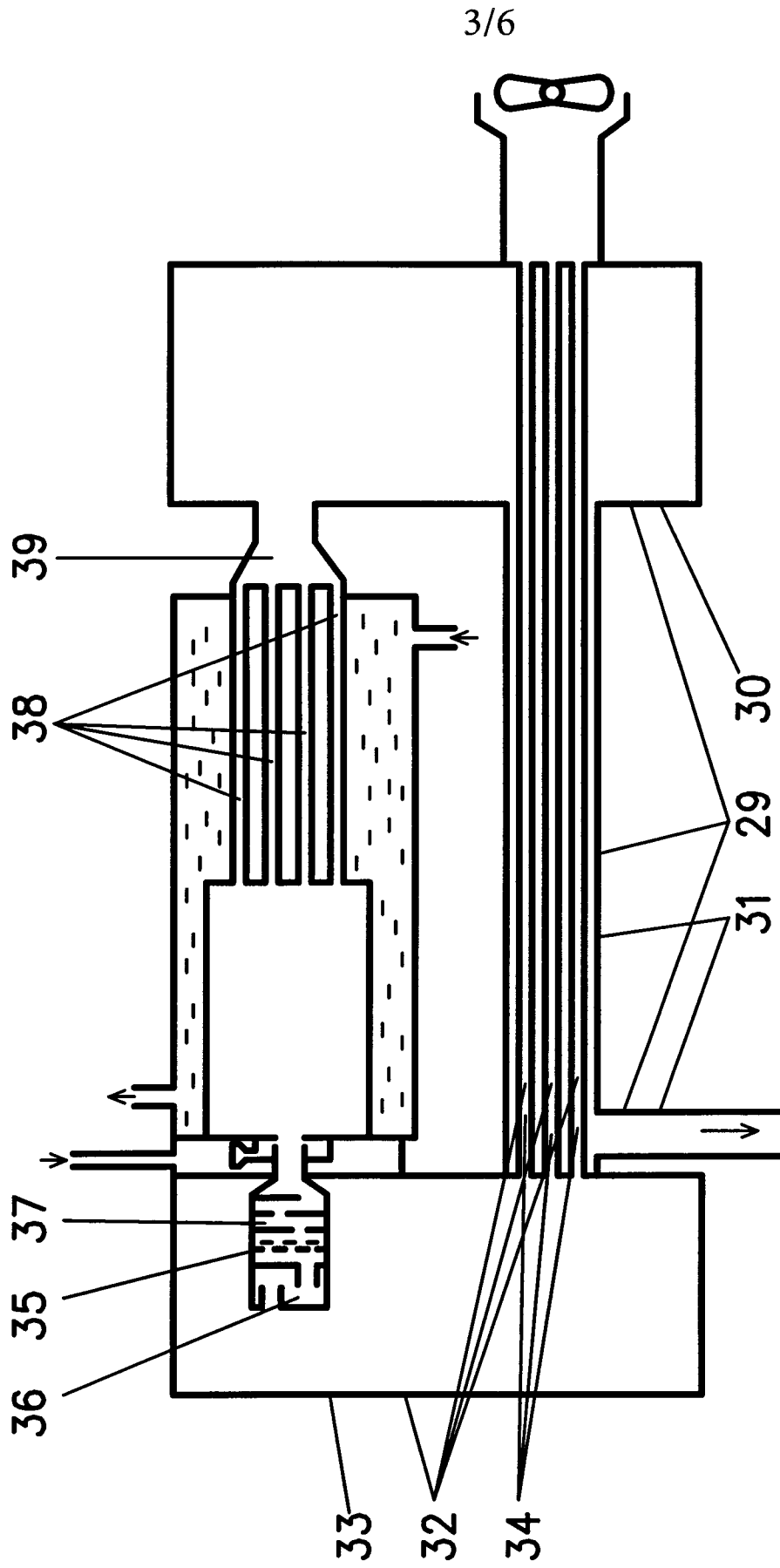
7. Аппарат по п.1, в котором первый резонатор Гельмгольца соединен с выходом по меньшей мере одной резонансной трубы посредством четвертого резонатора Гельмгольца с резонансной частотой выше частоты пульсаций горения.



ФИГ. 1

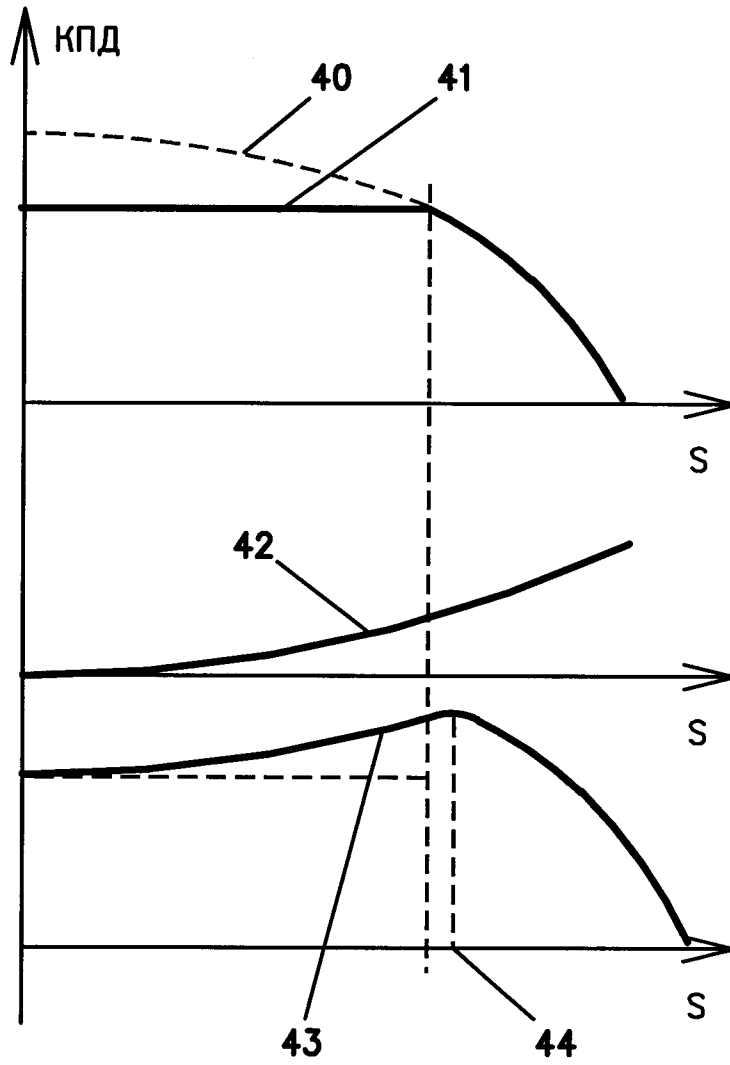


ФИГ. 2



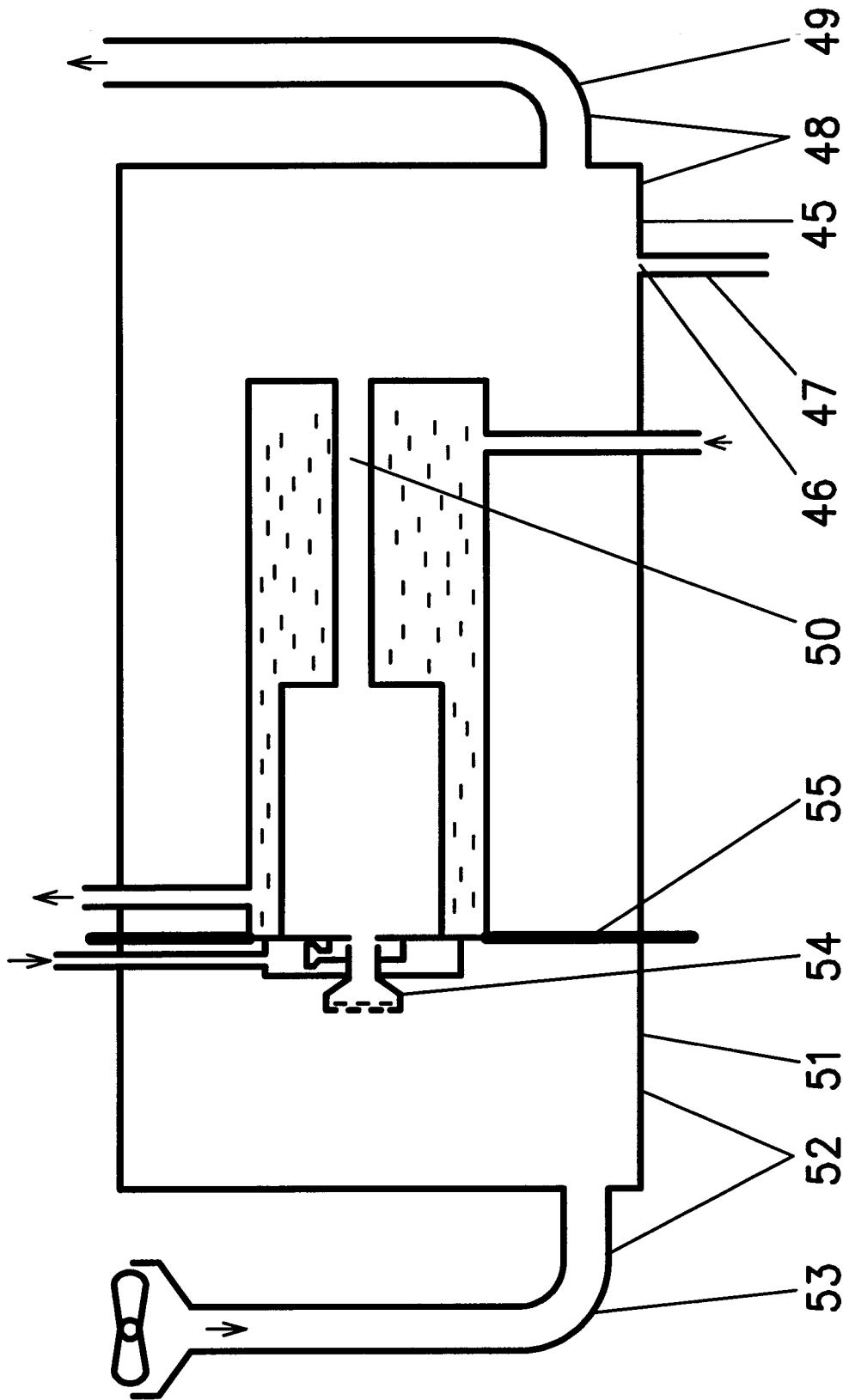
ФИГ. 3

4/6



Фиг. 4

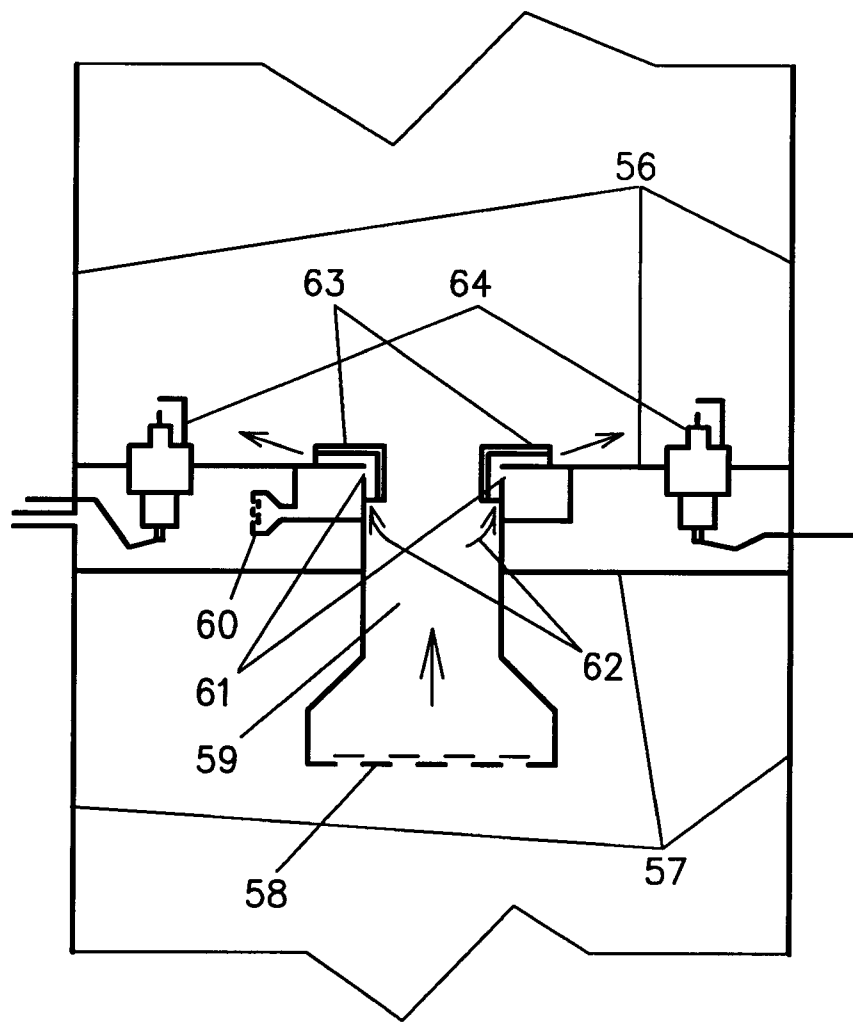
5/6



ФИГ. 5



6/6



Фиг. 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/RU 2021/000282

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER F23C 15/00 (2006.01) According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F23 C 15/00, 99/00; F23R 7/00 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, DWPI, EAPATIS, PATENTSCOPE		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A, D	WO 2020/117087 A1 (YAMILEV ILGIZ AMIROVICH et al.) 11.06.2020	1-7
A	RU 2745230 C1 (OBSHESTVO S OGRANICHENNOI OTVETSTVENNOSTIU "GAZPROM TRANSGAZ KAZAN") 22.03.2021	1-7
A	RU 2734669 C1 (OBSHESTVO S OGRANICHENNOI OTVETSTVENNOSTIU "NAUCHNO-PROIZVODSTVENNOE PREDPRIIATIE "AVIAGAZ-SOIUZ+") 21.10.2020	1-7
A	RU 2293253 C1 (FEDERALNOE GOSUDARSTVENNOE UNITARNOE PREDPRIIATIE "KIMOVSKY RADIOELEKTROMEKHANICHESKY ZAVOD") 10.02.2007	1-7
A	RU 2454611 C1 (OTKRYTOE AKTSIONERNOE OBSHESTVO "TATNEFT" IMENI V.D. SHASHINA) 27.06.2012	1-7
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 02 March 2022 (02.03.2022)		Date of mailing of the international search report 17 March 2022 (17.03.2022)
Name and mailing address of the ISA/ RU		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

**ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ**

Номер международной заявки

PCT/RU 2021/000282

<p><b>A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ</b> <i>F23C 15/00 (2006.01)</i></p> <p>Согласно Международной патентной классификации МПК</p>																			
<p><b>B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА</b> Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации) F23 C 15/00, 99/00; F23R 7/00</p> <p>Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки</p> <p>Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины) PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, DWPI, EAPATIS, PATENTSCOPE</p>																			
<p><b>C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Категория*</th> <th>Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей</th> <th>Относится к пункту №</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A, D</td> <td>WO 2020/117087 A1 (YAMILEV ILGIZ AMIROVICH et al.) 11.06.2020</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>RU 2745230 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ КАЗАНЬ") 22.03.2021</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>RU 2734669 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "АВИАГАЗ-СОЮЗ+") 21.10.2020</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>RU 2293253 C1 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "КИМОВСКИЙ РАДИОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД") 10.02.2007</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>RU 2454611 C1 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ТАТНЕФТЬ" ИМЕНИ В.Д. ШАШИНА) 27.06.2012</td> <td>1-7</td> </tr> </tbody> </table>		Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №	A, D	WO 2020/117087 A1 (YAMILEV ILGIZ AMIROVICH et al.) 11.06.2020	1-7	A	RU 2745230 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ КАЗАНЬ") 22.03.2021	1-7	A	RU 2734669 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "АВИАГАЗ-СОЮЗ+") 21.10.2020	1-7	A	RU 2293253 C1 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "КИМОВСКИЙ РАДИОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД") 10.02.2007	1-7	A	RU 2454611 C1 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ТАТНЕФТЬ" ИМЕНИ В.Д. ШАШИНА) 27.06.2012	1-7
Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №																	
A, D	WO 2020/117087 A1 (YAMILEV ILGIZ AMIROVICH et al.) 11.06.2020	1-7																	
A	RU 2745230 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ КАЗАНЬ") 22.03.2021	1-7																	
A	RU 2734669 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "АВИАГАЗ-СОЮЗ+") 21.10.2020	1-7																	
A	RU 2293253 C1 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "КИМОВСКИЙ РАДИОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД") 10.02.2007	1-7																	
A	RU 2454611 C1 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ТАТНЕФТЬ" ИМЕНИ В.Д. ШАШИНА) 27.06.2012	1-7																	
<p><input type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы C. <input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении</p>																			
<table border="0"> <tr> <td>* Особые категории ссылочных документов:</td> <td>"Т" более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение</td> </tr> <tr> <td>"А" документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным</td> <td>"Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности</td> </tr> <tr> <td>"D" документ, цитируемый заявителем в международной заявке</td> <td>"У" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста</td> </tr> <tr> <td>"E" более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее</td> <td>"&amp;" документ, являющийся патентом-аналогом</td> </tr> <tr> <td>"L" документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"O" документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"P" документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета</td> <td></td> </tr> </table>		* Особые категории ссылочных документов:	"Т" более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение	"А" документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным	"Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности	"D" документ, цитируемый заявителем в международной заявке	"У" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста	"E" более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее	"&" документ, являющийся патентом-аналогом	"L" документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)		"O" документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.		"P" документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета					
* Особые категории ссылочных документов:	"Т" более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение																		
"А" документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным	"Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности																		
"D" документ, цитируемый заявителем в международной заявке	"У" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста																		
"E" более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее	"&" документ, являющийся патентом-аналогом																		
"L" документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)																			
"O" документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.																			
"P" документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета																			
<p>Дата действительного завершения международного поиска</p> <p>02 марта 2022 (02.03.2022)</p>	<p>Дата отправки настоящего отчета о международном поиске</p> <p>17 марта 2022 (17.03.2022)</p>																		
<p>Наименование и адрес ISA/RU: Федеральный институт промышленной собственности, Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59, ГСП-3, Россия, 125993 Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37</p>	<p>Уполномоченное лицо: Староверова О. Телефон № 8 499 240 25 91</p>																		