



(10) **DE 10 2011 106 466 B4** 2018.08.16

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 106 466.8**
(22) Anmeldetag: **04.07.2011**
(43) Offenlegungstag: **10.01.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **16.08.2018**

(51) Int Cl.: **F02G 1/057 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**GPI Ges. f. Prüfstanduntersuchungen und
Ingenieurdienstleistungen mbH, 08115
Lichtentanne, DE**

(74) Vertreter:

**Steiniger, Carmen, Dipl.-Ing. Dr.-Ing., 09112
Chemnitz, DE**

(72) Erfinder:

**Weber-Mehnert, Mandy, 08468 Heinsdorfergrund,
DE; Pohlers, Andreas, Dr., 01744 Dippoldiswalde,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 20 2009 004 297 U1
EP 0 570 731 B1

**VDI-GESELLSCHAFT VERFAHRENSTECHNIK
UND CHEMIEINGENIEURWESEN (Hrsg.): VDI-
Wärmeatlas. 10. Auflage. Berlin : Springer-Verlag,
2006. - ISBN 3-540-25504-4**

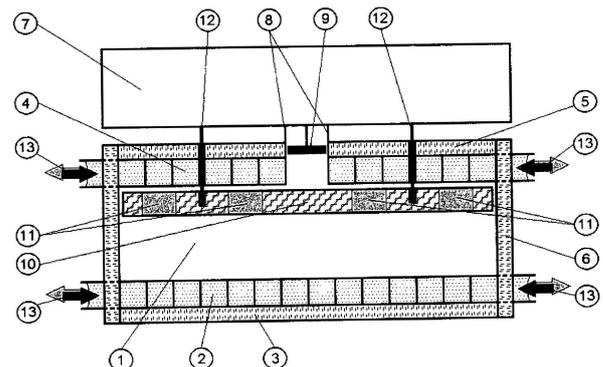
**VIEBACH, D.: Der Stirlingmotor – einfach
erklärt und leicht gebaut. 9. Auflage. Staufen bei
Freiburg : Ökobuch Verlag, 2010. S. 114-115. -
ISBN 978-3-936896-54-1**

**WERDICH, M.; KÜBLER, K.: Stirling-
Maschinen. 9. Auflage. Staufen bei Freiburg :
ökobuch Verlag, 2003. - ISBN 3-922964-96-6**

(54) Bezeichnung: **Wärmekraftmaschine**

(57) Hauptanspruch: Wärmekraftmaschine bestehend aus einer Gaskammer (1), welche an mindestens einer Seite mit einem ersten Wärmetauscheinrichtung (4) in Verbindung steht, die ein kaltes Medium führt sowie einer weiteren Wärmetauscheinrichtung (2), welche an mindestens einer Seite der Gaskammer (1) gegenüber der ersten Wärmetauscheinrichtung (4) angeordnet ist und ein wärmeres Medium führt sowie einer beweglichen Verdrängerplatte (10), die sich in der Gaskammer (1) befindet, mit der Gaskammer (1) wenigstens ein Arbeitszylinder (8) verbunden ist, in dem ein Arbeitskolben (9) oszilliert und der Arbeitskolben (9) und die Verdrängerplatte (10) über ein Getriebe (7) zur Phasenverschiebung und Umwandlung der kontinuierlichen Oszillation des Arbeitskolbens (9) in eine bistabile Oszillation der Verdrängerplatte (10) gekoppelt sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Verdrängerplatte (10) mindestens einen gasdurchlässigen Regenerator (11) umfasst, jeder Regenerator (11) in einem Durchbruch durch die Verdrängerplatte (10) derart mittig angeordnet ist, dass die Verdrängerplatte (10) in ihrem geometrischen Zentrum ausbalanciert ist, wobei die Dichte der Verdrängerplatte (10) kleiner oder gleich der Dichte des Regenerators (11) ist und die Verdrängerplatte (10) eine Wärmeleitfähigkeit kleiner 0,09 Watt je Meter und Kelvin aufweist, und wobei die Gaskammer (1) als gasdruckdichtes Rohr mit viereckigem oder run-

dem Querschnitt ausgebildet ist, dessen Seitenwände gasentleerte Hohlräume ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von Wärmeenergie in kinetische Energie in Form eines Heißgasmotors. Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet stellt die Nutzung von Restwärme zur Verrichtung mechanischer Arbeit dar.

[0002] Heißgasmotoren sind in vielfältiger Ausbildung bekannt, da die konstruktive Ausgestaltung des Motors und seiner Peripherie je nach Aufgabengebiet erfolgt. Die Nutzung von Restwärme zum Antrieb eines Heißgasmotors erfordert bereits geringe Temperaturunterschiede verwerten zu können, indem die Wärmeverluste minimiert werden. Ein dieses Ziel verfolgender Motor ist aus der DE 30 15 815 A1 bekannt. Es handelt sich um einen Heißgasmotor mit mindestens einer in einem vorzugsweise wärmeisoliertem Gehäuse angeordneten Kammer, deren eine Seite erwärmt und die andere Seite gekühlt ist. In der Kammer ist ein Verdränger zwischen den beiden Seiten verschieblich angeordnet und über einen Kurbeltrieb mit einem Motorteil verbunden. Der Verdränger und eine als Schwungrad ausgebildete Arbeitswelle werden von einer als Arbeitskolben fungierenden Membran angetrieben. Der Membranmotor ist seitlich an den Überströmraum angeschlossen. Der Antrieb des Verdrängers erfolgt mittels eines dicht mit dem Gehäuse verbundenen, durch eine Drehdurchführung eingeführten Schubstangentriebs, der durch Feder Vorspannung eine bistabile Lage des Verdrängers an den Seiten der Kammer herbeiführt. Der Verdränger ist plattenförmig ausgebildet und besteht aus wärmeisolierendem Material. Die Kammer kann einen Regenerator aufweisen, der seitlich der Flanke oder der Flanken der Verdrängerplatte im Überströmraum angeordnet ist und vorzugsweise aus einer dichten Drahtnetzanzordnung besteht. Die Kammer umfasst sowohl entlang der warmen als auch der kalten Seite eine Zwischenwand, so dass der Raum zwischen dieser und der Kammerwand als Strömungskanal für ein warmes bzw. ein kühles Medium genutzt wird, wobei die Zwischenräume über entsprechende Durchgänge und Anschlussmittel für Medienleitungen verfügen. Der wesentliche Effekt der bekannten Lösung besteht in einer Erhöhung des Wirkungsgrades, indem durch den bistabil oszillierenden Verdränger eine Verbesserung der isothermen Situation herbeigeführt wird. Es muss sowohl für die Kompression des kalten Arbeitsgases weniger Arbeit verrichtet werden und es wird bei der Expansion des heißen Gases mehr kinetische Energie gewonnen als bei kontinuierlich oszillierendem Verdränger, wodurch die Differenz zwischen der bei der Expansion des heißen Arbeitsgases gewonnenen Energie und der zur Kompression des kalten Arbeitsgases erforderlichen Arbeit, d.h. die nutzbare Energie größer wird. Damit kann der Motor bei gleichem Wärmeeaufwand mehr Leistung abgeben.

[0003] Die Druckschrift EP 0 570 731 B1 beschreibt eine Stirlingmaschine mit Wärmetauscher, welche für einen Nieder- bis Mitteltemperaturbetrieb, d.h. für kleines Kompressionsverhältnis und großes verdrängtes Volumen, ausgelegt ist. Die Stirlingmaschine weist ein Gehäuse mit zwei zueinander parallelen Gehäuseplatten auf, zwischen welchen eine Verdrängerplatte hin- und herbewegt wird. Die Verdrängerplatte trennt zwei Arbeitsgasteilvolumina - einen Expansionsraum und einen Kompressionsraum - voneinander, denen zum Wärmetausch Erhitzer und Kühler zugeordnet sind. Der Erhitzer, die Verdrängerplatte, der Kühler und ein Regenerator bilden eine bewegte Einheit, wobei der Erhitzer und der Kühler an der Verdrängerplatte angebracht sind. Der Regenerator, welcher den Expansionsraum und Kompressionsraum verbindet, ist in der Verdrängerplatte angeordnet und erstreckt sich über deren gesamte Fläche. Die beiden Gehäuseplatten sind durch verteilt angeordnete Streben zueinander auf Distanz gehalten, wobei die Streben rechtwinklig zu der Verdrängerplatte verlaufend durch diese hindurchtreten.

[0004] In der Druckschrift DE 20 2009 004 297 U1 ist ein Stirlingmotor mit Außenluftzufuhr beschrieben. Der Stirlingmotor weist einen zylindrischen Arbeitsraum auf, der von einer festen beheizbaren, ersten Verschlussplatte, einem zylindrischen Mantel und einem zwischen einer ersten Arbeitsposition und einer zweiten Arbeitsposition beweglich geführten Arbeitskolben begrenzt ist. In dem Arbeitsraum ist ein gesteuert bewegbarer Verdrängerkolben vorgesehen. In einem Bereich zwischen Arbeitskolben und Verdrängerkolben ist der Arbeitsbereich mit einem Mittel zur gesteuerten Öffnung zur Umgebung versehen. Vorzugsweise ist das Mittel zur gesteuerten Öffnung durch eine zweite Verschlussplatte gebildet, die gesteuert von dem Mantel abhebbar ist. Ein Regenerator ist in dem Verdrängerkolben vorgesehen.

[0005] Daraus ergibt sich die Aufgabe der Erfindung, die thermodynamischen Eigenschaften einer derartigen Wärmekraftmaschine weiter zu verbessern, so dass bereits Temperaturunterschiede von kleiner oder gleich 10 Kelvin zur Bereitstellung kinetischer Energie nutzbar sind.

[0006] Diese Aufgabe wird durch eine Wärmekraftmaschine mit den Merkmalen nach Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen ergeben sich anhand der Merkmale der Unteransprüche.

[0007] Die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine besteht aus einer Gaskammer, welche an mindestens einer Seite mit einer ersten Wärmetauscheinrichtung in Verbindung -steht, die ein kaltes Medium führt sowie einer weiteren Wärmetauscheinrichtung, welche an mindestens einer Seite der Gaskammer gegenüber der ersten Wärmetauscheinrichtung

angeordnet ist und ein wärmeres Medium führt, sowie einer beweglichen Verdrängerplatte, die sich in der Gaskammer befindet. Die Verdrängerplatte umfasst mindestens einen gasdurchlässigen Regenerator. Mit der Gaskammer ist ein Arbeitszylinder verbunden, in dem ein Arbeitskolben oszilliert. Der Arbeitskolben und die Verdrängerplatte sind über ein Getriebe zur Phasenverschiebung und Umwandlung der kontinuierlichen Oszillation des Arbeitskolbens in eine bistabile Oszillation der Verdrängerplatte gekoppelt. Jeder Regenerator ist in einem Durchbruch durch die Verdrängerplatte derart mittig angeordnet, dass die Verdrängerplatte in ihrem geometrischen Zentrum ausbalanciert ist. Die Dichte der Verdrängerplatte ist kleiner oder gleich der Dichte des Regenerators, wobei die Verdrängerplatte eine Wärmeleitfähigkeit kleiner 0,09 Watt je Meter und Kelvin aufweist, und wobei die Gaskammer als gasdruckdichtes Rohr mit viereckigem oder rundem Querschnitt ausgebildet ist, dessen Seitenwände gasentleerte Hohlräume aufweisen.

[0008] Vorteilhaft ausgebildet wird die Erfindung, indem der Regenerator aus einem offenporigen Metallschaum besteht, wobei vorzugsweise der Metallschaum des Regenerators eine zweiteilige Struktur aufweist und diese einerseits gasdurchlässige Abschnitte durch eine offenporige Struktur sowie andererseits geschlossen porige Abschnitte besitzt, in welche ein Phasenwechselmaterial eingebracht ist.

[0009] Die Effizienz der Erfindung wird vorteilhaft beeinflusst durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Wärmetauscher, indem diese als gasdruckdichte Gegenstrom-Wärmetauscher ausgebildet sind und zur Gaskammer hin eine glatte Oberflächenstruktur, auf der gegenüberliegenden Seite hingegen eine mäanderförmige Oberflächenstruktur aufweisen, die direkt in das Material der Wärmetauscher eingebracht oder als stoffschlüssige Verbindung mit gebogenen Rohren ausgebildet ist und jeder Wärmetauscher auf jeder Seite über jeweils eine Eintritts- und eine Austrittsöffnung für das Übertragungsmedium verfügt, wobei vorzugsweise mindestens eine Wärmetauscherichtung wärmeisoliert ist und/oder die Wärmetauscher gasdruckdicht mit der Gaskammer verbunden sind.

[0010] Vorteilhaft weitergebildet wird die Erfindung, wenn der Arbeitszylinder getriebeseitig ein gasdruckdichtes Gehäuse aufweist, das über eine Absperrrichtung mit der Gaskammer verbunden ist, so dass Leckagegas aus dem Kurbelraum des Arbeitszylinders in die Gaskammer rückgeführt werden kann.

[0011] Die vorteilhafte Wirkung der Erfindung ergibt sich aus dem Zusammenspiel der konstruktiven Merkmale im Kreisprozess:

[0012] Der Verdränger befindet sich auf der kalten Seite, der Arbeitskolben am unteren Umkehrpunkt. Durch das Erwärmen des Gases wird der Arbeitskolben nach außen gedrückt, kinetische Energie wird gewonnen und über das Getriebe einem Nutzprozess zugeführt. Der Arbeitskolben erreicht den oberen Totpunkt, das Gas das maximale Volumen. Beim größten warmen Gasvolumen klappt der Verdränger schlagartig auf die warme Seite, das Gas strömt durch die kühlen Regeneratoren und gibt isochor Wärme ab. Mit dem Umklappen des Verdrängers auf die warme Seite ist der Wärmeaustausch abgeschlossen. Das kalte Gas wird nun durch den Arbeitskolben isotherm komprimiert. Hat der Arbeitskolben den unteren Totpunkt erreicht, klappt der Verdränger schlagartig auf die kalte Seite. Das Gas durchströmt die warmen Regeneratoren und nimmt isochor Wärme auf.

[0013] Der diskontinuierliche Ablauf des Kreisprozesses erfolgt in den isochoren Teilprozessen. In beiden Teilprozessen klappt der Arbeitskolben schlagartig von der Ausgangsseite auf die Zielseite um. Das plötzliche Umschlagen zwischen warmer und kalter Seite verhindert zugleich auch das Entstehen zusätzlicher Wärmeverluste, welche den Wirkungsgrad des Kreisprozesses herabsetzen könnten.

[0014] Die pro Kreislaufzyklus auf die kalte Maschinenseite transportierte Wärmemenge wird in geeigneter Weise abgeleitet oder anderweitig genutzt.

[0015] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine wird nachfolgend anhand der Zeichnung erläutert. Die Zeichnung zeigt in

Fig. 1 eine Wärmekraftmaschine mit einem Arbeitskolben und einem über zwei Zug-Schub-Stangen angetriebenen Verdränger und

Fig. 2 eine Wärmekraftmaschine mit zwei Arbeitskolben und einem über eine Zug-Schub-Stange angetriebenen Verdränger.

[0016] Die Wärmekraftmaschine besteht aus einer starren Gaskammer **1**, deren Seitenwände **6** aus einem thermischen Isolator und deren Grund- und Deckfläche **3, 5** aus Wärmetauschern **2, 4** mit außen liegender thermischer Isolation aufgebaut sind.

[0017] In der Kammer **1** ist ein nicht dicht schließender Verdrängerkolben **10** mit Bewegungsfreiheit in Grund- und Deckflächenrichtung mit einer Mehrzahl integrierter Regeneratoren **11** angeordnet.

[0018] Die Deckfläche der Gaskammer **1** ist über ein kleines Totvolumen mit einem (**Fig. 1**) oder zwei (**Fig. 2**) Arbeitszylinder(n) **8** verbunden, dessen bzw. deren Arbeitskolben **9** in Arbeitszylinderachsrichtung beweglich ist und eine Variation des Gesamtvolumens bewirkt.

mens von Gaskammer **1** und Arbeitszylinder **8** erlaubt. Ein Getriebe **7**, welches Arbeitskolben **9** und Verdränger **10** funktionsgemäß verbindet, realisiert eine diskontinuierliche Bewegung des Verdrängers **10**. Verdränger- **10** und Arbeitskolben **9** sind um 90° phasenversetzt. Die kontinuierliche Bewegung des Arbeitskolbens **9** wird durch Druckpunkt -und Federgetriebe **7** in eine ruckartige, bistabile Bewegung des Zug-Schub-Gestänges **12** gewandelt.

[0019] Die Wärmekraftmaschine ist ein Basismodul und kann zu komplexeren Wärmekraftmaschinen-Arrays in Form von Mehrzylinder-Wärmemaschinen zusammengesetzt werden.

[0020] Fig. 1 zeigt eine erste Variante des Basismoduls. Der Arbeitszylinder **8** befindet sich aus strömungstechnischen Gründen zentralsymmetrisch auf der kalten Deckfläche **5**, wobei der Kammerquerschnitt kreisförmig oder quadratisch ist. Arbeitskolben **9** und Verdrängerkolben **10** bewegen sich parallel und zentralsymmetrisch zur Kammerachse. Der Verdrängerkolben **10** wird zentralsymmetrisch durch zwei Zug-Schub-Stangen **12** geführt, welche über Exzenter auf einer Drehachse als Getriebe **7** mit dem Arbeitskolben **9** verbunden sind.

[0021] Eine zweite Variante zeigt Fig. 2. Es werden zwei Arbeitszylinder **8** zentralsymmetrisch auf der kalten Deckfläche **5** angeordnet, aus strömungstechnischen Gründen müsste der Kammerquerschnitt elliptisch oder rechteckig gewählt werden. Arbeitskolben **9** und Verdrängerkolben **10** bewegen sich parallel zur Symmetrieachse der Kammer **1**. Der Verdrängerkolben **10** wird zentralsymmetrisch durch eine Zug-Schub-Stange **12** geführt, welche über Exzenter auf einer Drehachse als Getriebe **7** mit dem Arbeitskolben **9** verbunden sind. Für den Aufbau von Mehrzylinder- oder Mehrstufen-Varianten ist die viereckige Bauweise einer runden oder elliptischen vorzuziehen.

[0022] In jedem Wärmetauscher **2**, **4** sind ein oder mehrere Rohre mäanderförmig integriert, welche von einem oder mehreren warmen flüssigen oder gasförmigen Medien getrennt durchflossen werden. Für die Zug-Schub-Stangen **12** und Arbeitszylinder **8** sind entsprechende Durchbrüche vorhanden. Die Fließrichtung in den verschiedenen Rohren eines Wärmetauschers **2**, **4** kann zur Verbesserung der Temperaturkonstanz gegenläufig sein. Die Zu- und Abflüsse **13** sind mit entsprechenden Pfeilen gekennzeichnet.

[0023] Für die Seitenwände **3**, **5**, **6** ist als thermischer Isolator ein Metall-Dämmstoff- oder Metall-Polymer-Verbund vorgesehen. In beiden Varianten befindet sich zwischen den metallischen Außenflächen die eigentliche Dämmschicht, welche auch geschäumt sein kann.

Patentansprüche

1. Wärmekraftmaschine bestehend aus einer Gaskammer (1), welche an mindestens einer Seite mit einem ersten Wärmetauscheinrichtung (4) in Verbindung steht, die ein kaltes Medium führt sowie einer weiteren Wärmetauscheinrichtung (2), welche an mindestens einer Seite der Gaskammer (1) gegenüber der ersten Wärmetauscheinrichtung (4) angeordnet ist und ein wärmeres Medium führt sowie einer beweglichen Verdrängerplatte (10), die sich in der Gaskammer (1) befindet, mit der Gaskammer (1) wenigstens ein Arbeitszylinder (8) verbunden ist, in dem ein Arbeitskolben (9) oszilliert und der Arbeitskolben (9) und die Verdrängerplatte (10) über ein Getriebe (7) zur Phasenverschiebung und Umwandlung der kontinuierlichen Oszillation des Arbeitskolbens (9) in eine bistabile Oszillation der Verdrängerplatte (10) gekoppelt sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verdrängerplatte (10) mindestens einen gasdurchlässigen Regenerator (11) umfasst, jeder Regenerator (11) in einem Durchbruch durch die Verdrängerplatte (10) derart mittig angeordnet ist, dass die Verdrängerplatte (10) in ihrem geometrischen Zentrum ausbalanciert ist, wobei die Dichte der Verdrängerplatte (10) kleiner oder gleich der Dichte des Regenerators (11) ist und die Verdrängerplatte (10) eine Wärmeleitfähigkeit kleiner 0,09 Watt je Meter und Kelvin aufweist, und wobei die Gaskammer (1) als gasdruckdichtes Rohr mit viereckigem oder rundem Querschnitt ausgebildet ist, dessen Seitenwände gasentleerte Hohlräume aufweisen.

2. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Regenerator (11) aus einem offenporigen Metallschaum besteht.

3. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Metallschaum des Regenerators (11) eine zweiteilige Struktur aufweist, wobei diese einerseits gasdurchlässige Abschnitte durch eine offenporige Struktur sowie andererseits geschlossenenporige Abschnitte besitzt, in welche ein Phasenwechselmaterial eingebracht ist.

4. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmetauscher (2, 4) als gasdruckdichte Gegenstrom-Wärmetauscher ausgebildet sind und zur Gaskammer (1) hin eine glatte Oberflächenstruktur, auf der gegenüberliegenden Seite hingegen eine mäanderförmige Oberflächenstruktur aufweisen, die direkt in das Material der Wärmetauscher (2, 4) eingebracht oder als stoffschlüssige Verbindung mit gebogenen Rohren ausgebildet ist und jeder Wärmetauscher (2, 4) auf jeder Seite über jeweils eine Eintritts- und eine Austrittsöffnung (13) für das Übertragungsmedium verfügt.

5. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein Wärmetauscher (2, 4) wärmeisoliert ist.

6. Wärmekraftmaschine Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmetauscher (2, 4) gasdruckdicht mit der Gaskammer (1) verbunden sind.

7. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitszylinder (8) getriebeseitig ein gasdruckdichtes Gehäuse aufweist, das über eine Absperreinrichtung mit der Gaskammer (1) verbunden ist.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

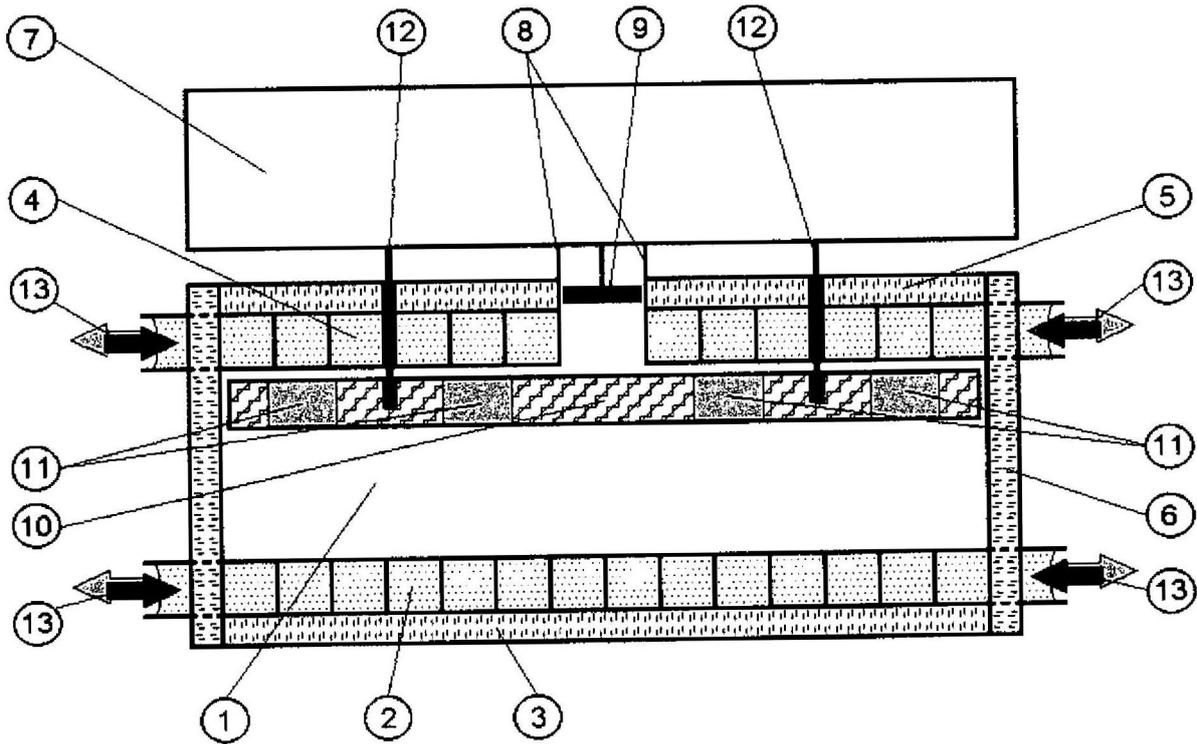


Fig. 1

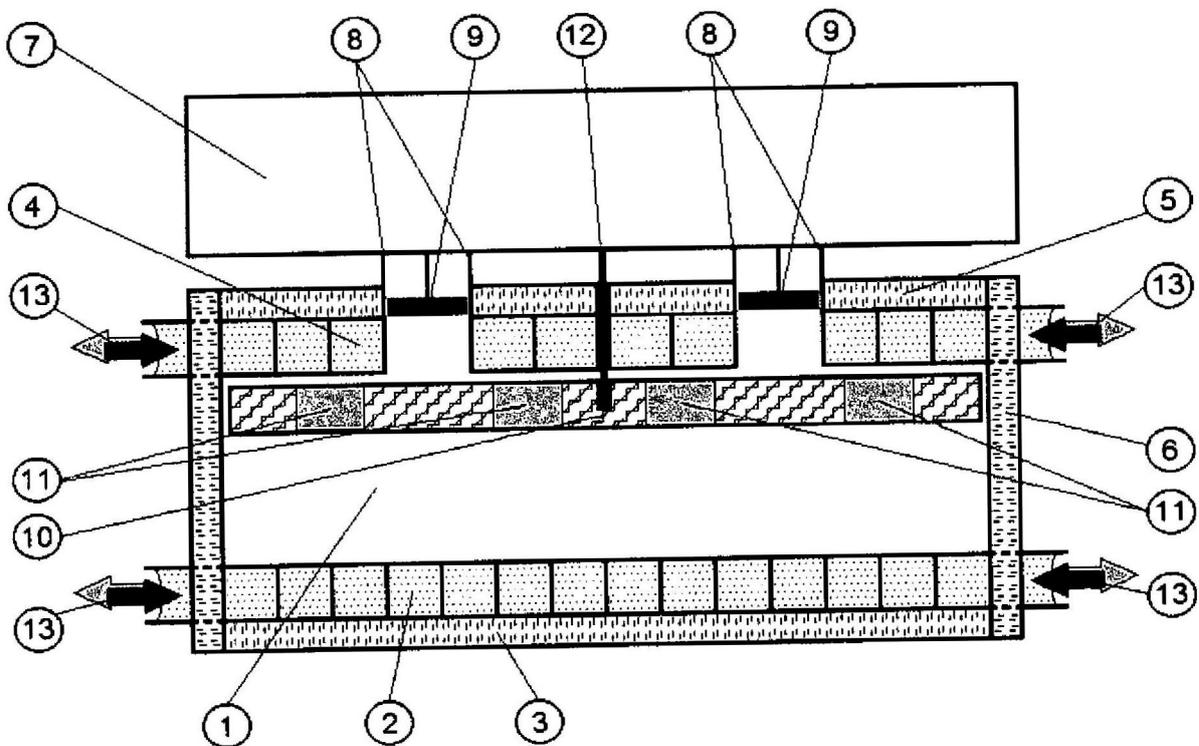


Fig. 2