



УКРАЇНА

(19) UA (11) 37228 (13) C2

(51) 7 B01D51/08, 49/00,  
F23C11/04, F02K7/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ІМПУЛЬСНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА (ВАРІАНТИ) ТА СПОСІБ АКУСТИЧНОГО СПІКАННЯ МІКРОЧАСТОК (ВАРІАНТИ)

(21) 95104710

(22) 28.03.1994

(24) 15.05.2001

(31) 08/041213

(32) 29.03.1993

(33) US

(86) PCT/US94/03324, 28.03.1994

(46) 15.05. 2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Мансур Момтаз Н., US, Чандрани Раві, US

(73) МАНУФАКТУРІНГ ЕНД ТЕХНОЛОДЖІ КОН-  
ВЕРШН ІНТЕРНЕТІОНЛ ІНК. (US)

(57) 1. Импульсное устройство для сжигания топлива, **отличающееся** тем, что содержит средство для приема газового потока, несущего твердые частицы, и пропускающего этого газового потока, импульсное средство сжигания, сообщающееся со средством для приема газового потока и предназначенное для образования пульсирующего потока горячих газообразных продуктов сгорания и акустической волны с частотой в диапазоне от приблизительно 20 до приблизительно 1500 Гц, воздействующей на газовый поток таким образом, что происходит усиленное акустическим воздействием спекание твердых частиц, захваченных газовым потоком, что способствует улучшению удаления указанных спеченных частиц материала.

2. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что импульсное средство сжигания расположено внутри средства приема газового потока.

3. Устройство по п.2, **отличающееся** тем, что импульсное средство сжигания содержит камеру сгорания, топливный клапан, сообщающийся с камерой сгорания, и резонансную трубу, сообщающуюся с камерой сгорания и имеющую выход внутри указанного средства для приема газового потока, при этом выходное отверстие выходной трубы расположено приблизительно в центре средства приема газового потока.

4. Устройство по п. 1, **отличающееся** тем, что содержит средство удаления спеченных частиц из газового потока.

5. Устройство по п.4, **отличающееся** тем, что в качестве средства удаления спеченных частиц использован циклон.

6. Устройство по п.5, **отличающееся** тем, что циклон нагревается.

7. Устройство по п.3, **отличающееся** тем, что средство приема газового потока содержит две отдельные секции, причем, по меньшей мере, од-

на из секций содержит кольцевое пространство вокруг резонансной трубы.

8. Устройство по п.3, **отличающееся** тем, что содержит средство для вдувания топлива в топливный клапан.

9. Устройство по п.3, **отличающееся** тем, что содержит водяную рубашку вокруг камеры сгорания, обеспечивающую циркуляцию охлаждающей жидкости вокруг указанной камеры сгорания.

10. Устройство по п.7, **отличающееся** тем, что резонансная труба составляет приблизительно половину длины кольцевого канала.

11. Устройство по п. 10, **отличающееся** тем, что содержит второй кольцевой канал.

12. Устройство по п. 11, **отличающееся** тем, что содержит отражатель звука, расположенный поперек второго кольцевого канала, так что импульсное средство сжигания настроено на получение в кольцевом канале и втором кольцевом канале стоячей волны для уменьшения акустических потерь.

13. Устройство по п. 1, **отличающееся** тем, что содержит средство внесения в устройство влаги для удаления частиц.

14. Устройство по п. 13, **отличающееся** тем, что средство для внесения влаги содержит патрубок для распыления воды, расположенный относительно импульсного средства сжигания таким образом, чтобы осуществлять непосредственное воздействие влаги на пульсирующий поток горячих продуктов сгорания.

15. Способ акустического спекания микрочастиц, **отличающийся** тем, что воздействуют на газовый поток с захваченными им частицами посредством импульсной акустической волны от сгорания с частотой от приблизительно 20 до приблизительно 1500 Гц для улучшения акустического воздействия на спекание частиц.

16. Способ по п. 15, **отличающийся** тем, что прикладывают к потоку горячих продуктов сгорания, включающему предназначенный для спекания твердый материал и другой газовый поток, несущий другие частицы, импульсное акустическое давление.

17. Способ по п. 15, **отличающийся** тем, что осуществляют введение влаги в газовый поток, несущий твердые частицы.

18. Способ по п. 15, **отличающийся** тем, что удаляют спекшиеся частицы материала для улучшения очистки газового потока.

19. Способ по п. 16, **отличающийся** тем, что удаляют спекшиеся частицы материала для улучшения очистки газового потока.
20. Способ по п. 15, **отличающийся** тем, что импульсному давлению подвергают топливовоздушную смесь с измельченным топливом.
21. Способ по п. 15, **отличающийся** тем, что указанные частицы в газовом потоке представляют собой зольную пыль, образующуюся при сгорании угля.
22. Способ по п. 15, **отличающийся** тем, что используют волну акустического давления с частотой в диапазоне от приблизительно 50 до приблизительно 250 Гц.
23. Способ по п. 15, **отличающийся** тем, что используют тепло, выделяющееся при импульсном сгорании, которое создает температуру ниже той, при которой частицы в потоках начинают шлакование.
24. Способ по п. 15, **отличающийся** тем, что направляют очищенный газовый поток к устройству, которое приводится в действие этим газовым потоком.
25. Способ по п. 24, **отличающийся** тем, что устройство, которое приводится в действие газовым потоком, является турбиной.
26. Способ по п. 15, **отличающийся** тем, что поддерживают тепловую мощность в диапазоне от 1 млн. ВТЕ/час до 6 млн ВТЕ/час (0,29-1,74 тыс. кВт/час).
27. Способ по п. 15, **отличающийся** тем, что газовый поток, несущий твердые частицы, представляет поток горячих продуктов импульсного сгорания, сопровождаемый волной давления.
28. Способ акустического спекания микрочастиц, **отличающийся** тем, что сжигают топливо в импульсном режиме для получения горячего потока продуктов сгорания и волны акустического давления с частотой в диапазоне от приблизительно 20 до приблизительно 1500 Гц, объединяют поток продуктов сгорания и волну давления с независимым газовым потоком, содержащим захваченные твердые частицы для акустического усиленного спекания частиц и удаления спекшихся частиц из объединенных потоков, используют объединенный поток для приведения в действие расположенного по ходу потока оборудования.
29. Импульсное устройство для сжигания топлива, **отличающееся** тем, что содержит средство для приема газового потока, несущего твердые частицы, и пропускания этого газового потока, им-

пульсное средство сжигания, содержащее камеру сгорания, топливный клапан, сообщающийся с камерой сгорания, и резонансную трубу, сообщающуюся с камерой сгорания и имеющую выход внутри указанного средства приема газового потока, при этом импульсное средство сжигания сообщается со средством приема газового потока для получения пульсирующего потока горячих продуктов сгорания и акустической волны, воздействующей на газовый поток таким образом, что происходит усиленное акустическим воздействием спекание твердых материалов, захваченных газовым потоком, для улучшения удаления спекшихся твердых материалов, средство для введения улавливающих серу сорбентов в поток горячих продуктов сгорания, средство для введения влаги для воздействия на горячие продукты сгорания для улучшения улавливания серы и удаления твердых частиц.

30. Способ акустического спекания микрочастиц, **отличающийся** тем, что сжигают топливо в импульсном режиме для получения горячего потока продуктов сгорания и волны акустического давления, воздействуют потоком горячих продуктов сгорания, несущих твердые частицы, на газовый поток, осуществляют внесение влаги в поток горячих продуктов сгорания для улучшения удаления твердых частиц.

31. Способ по п.30, **отличающийся** тем, что вводят в поток горячих продуктов сгорания сорбенты улавливания загрязнений, причем сорбент выбирают из группы, состоящей из известняка, извести и гашеной извести.

32. Способ по п.31, **отличающийся** тем, что загрязнения, улавливаемые сорбентом, включают производные серы.

33. Способ по п.30, **отличающийся** тем, что в поток горячих продуктов сгорания добавляют улавливающий щелочи реагент, причем улавливающий щелочи реагент выбирают из группы, состоящей из инфузорной земли, эмали, кремнезема, боксита, вермикулита, гекторита и каолина.

34. Способ по п.30, **отличающийся** тем, что газовый поток поддерживают нагретым во время удаления из него твердых частиц.

35. Способ по п.31, **отличающийся** тем, что поток горячих продуктов сгорания сопровождается волна акустического давления.

36. Способ по п.30, **отличающийся** тем, что осуществляют введение сорбента в поток горячих продуктов сгорания.

Изобретение относится к импульсным устройствам для сжигания топлива и к способам акустического спекания микрочастиц, образующихся при сгорании топлива, предназначенным для удаления из газового потока продуктов сгорания топлива.

Основной проблемой использования определенных видов топлива для прямого обогрева обычных систем выработки энергии являются микрочастицы, образующиеся при сгорании топлива. Эти частицы остаются в потоке газообразных про-

дуктов сгорания. Поскольку газовый поток, приводящий в действие такие системы, оказывает отрицательное воздействие на срок службы турбин, газовый поток должен быть, по существу, свободен от твердых частиц. Хотя для удаления некоторых более крупных частиц могут быть применены обычные устройства, такие как циклоны, эти устройства не позволяют удалить из потока более мелкие частицы.

Удаление твердых частиц из газового потока наиболее важно для усовершенствованных

систем выработки энергии, в которых в качестве топлива используется уголь. В частности, возможностью достижения высокого термодинамического КПД обладает газовая турбина с прямым сжиганием угля, в которой применяются газовые турбины, последовательно соединенные с камерами сгорания угля. Однако природа топлива на основе угля препятствует эффективному использованию и эффективности таких систем турбин с прямым сжиганием угля, поскольку топливо на основе угля дает золу и химические вещества, такие как сера и связанный с топливом азот, которые отсутствуют в заметных количествах в топливах на основе нефти. Такие минеральные составляющие в топливе на основе угля могут привести к ухудшению эффективности турбины, понижению надежности, увеличению расходов на техническое обслуживание, а также оказывают отрицательное воздействие на окружающую среду. Имеет место также ухудшение аэродинамического профиля газовой турбины со сжиганием угля из-за коррозии, осаждения наслоев и эрозии, вызванных частицами и другими материалами, которые несет газовый поток.

Прямое сжигание угля может также привести к выделению, кроме продуктов сгорания, щелочных паров и соединений серы. Такие выбросы загрязнений могут привести к быстрой коррозии лопаток турбины. Содержащийся в топливе азот вызывает в газовом потоке образование также выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ). Хотя оксиды азота сами по себе не оказывают отрицательного воздействия на лопатки турбины, они представляют собой загрязнения, попадание в атмосферу которых нежелательно. Для соблюдения требований к чистоте воздуха требуются способы или процессы, позволяющие или уменьшить образование оксидов азота, или разлагать или удалять такие загрязнители из потока топочных газов. До сих пор не было предложено приемлемых с экономической точки зрения способов удаления загрязнений из выхлопов турбин перед выбросом этих выхлопов в атмосферу.

Предпринимались различные попытки преодоления вышеуказанных проблем с целью получения экономически осуществимого и эффективного процесса прямого сжигания твердого топлива в газовых турбинах. Предпринимались также попытки создания способа удаления мелких частиц из газового потока. Например, перед сжиганием угольное топливо проходило сверх тщательную очистку для удаления примесей путем удаления из угля золы и серы перед сжиганием (заявка Франции № 2533018, М.Кл.<sup>5</sup> F23C11/02, F22B21/02, 1984). Из микронных частиц хорошо очищенного угля изготавливалась водоугольная суспензия, которая использовалась затем как топливо. Этот подход дает угольное топливо в виде суспензии, что почти не требует модификации двигателя газовой турбины, но требует больших затрат, поскольку стоимость необходимой очистки угля и подготовки суспензии была очень высока, что привело в результате к отказу к этому подходу.

Другой попыткой создания чистого потока рабочего газа было использование умеренно чистого топливного продукта в соединении с системой очистки горячего газа, отходящего от газовой

турбины, с устройствами контроля частиц (пат. США № 5103742, М.Кл.<sup>5</sup> F23J 15/00, 1992). При этом большинство из устройств контроля частиц являются вторичными или третичными устройствами контроля частиц, в которых требуются многократные стадии очистки для хорошей очистки газового потока с имеющимися в нем частицами.

Известен подход к получению чистого газового потока, использующий для удаления основной массы зольной пыли концепцию камеры сгорания с ошлаковыванием (заявка Франции № 2670869, М.Кл.<sup>5</sup> F23R 3/42, 3/02, 1991). Угольные камеры сгорания газовой турбины работают при достаточно высокой температуре за счет поддержания стехиометрии воздуха для горения на уровне, близком к стехиометрическому, в адиабатической камере сгорания, так что зола расплавляется и удаляется из топочного газа в форме шлака. Однако такой подход сохраняет значительное количество остаточных мелких частиц (средними размерами 4 мкм) в газовом потоке, которых достаточно для повреждения лопаток турбины.

Высокие температуры, при которых должны работать камеры сгорания с ошлаковыванием, способствуют также повышению количества оксидов азота, образующихся в процессе сгорания. Это, в свою очередь, требует размещения за угольной камерой сгорания другого средства, позволяющего уменьшить концентрацию оксидов азота в потоке отходящих газов.

Кроме того, высокие температуры горения в камерах сгорания с ошлаковыванием являются неприемлемой температурой для улавливания серы с помощью использования сухих сорбентов, таких как известняк или доломит. Оксиды серы, образовавшиеся при сжигании содержащих серу углей, должны, следовательно, быть удалены из потока топочных газов где-то за камерой сгорания. Еще одним побочным продуктом, образующимся за счет высокой температуры в камере сгорания с ошлаковыванием, являются щелочные пары в потоке газа, которые также следует удалить с целью уменьшить коррозию лопаток турбины.

В системах камер сгорания с ошлаковыванием также часто используют высокотемпературные керамические фильтры, расположенные за камерой сгорания турбины и перед самой турбиной, предназначенные для задерживания частиц зольной пыли до того, как они попадут в турбину или иным образом повредят лопатки турбины (пат. США № 4436538, М.Кл.<sup>3</sup> B01D 39/20, 1984). Керамические фильтры, однако, допускают только очень низкую поверхностную скорость газа, вызывая таким образом неприемлемый перепад давления в фильтре. Это приводит к тому, что размеры таких керамических фильтров становятся недопустимо большими, что ведет к очень высоким затратам. Кроме того, керамические фильтры ненадежны, поскольку они чрезвычайно хрупки и чувствительны к термическим ударам и связанным с ними термическим напряжениям. Кроме того, такие фильтры имеют тенденцию к засорению, что требует средств для поддержания чистоты фильтров без образования устойчивого перепада давлений в фильтре по мере его «заполнения» мелкими частицами.

Известны другие способы и устройства для очистки газового потока, не связанные с ошлаковыванием. Они предусматривают использование сухого отделения золы перед турбиной, для чего, например, серу улавливают с помощью сухих сорбентов в трехступенчатой камере сгорания (пат.США № 5105747, М.Кл.<sup>5</sup> F23J 11/00, 1992). Многоступенчатая модульная конструкция устройства сгорания при таком подходе предусматривает использование модифицированной трехступенчатой камеры сгорания, приспособленной для отделения золы и улавливания серы. Аэродинамический сепаратор частиц отделяет зольные отходы. Однако при этом было обнаружено, что образуется черный осадок на поверхности зоны гашения камеры сгорания. Таким образом, в зоне гашения происходит непреднамеренное ошлаковывание, причем затвердевшие частицы откалываются и перемещаются далее без осаждения на других поверхностях камеры сгорания, что может вызвать повреждение системы. За камерой сгорания требуется осуществление дополнительной газоочистки и контроля содержания оксидов азота (пат. WO 92/09354, М.Кл.<sup>5</sup> B01D 49/00, 1992).

Для контроля выбросов в стандартном котельном хозяйстве применяются другие системы очистки с использованием тканевых фильтров (пат. WO 92/14971, М.Кл.<sup>5</sup> F23J 1/00, F24B 1/191, 1992), однако тканевые фильтры не применимы в системах очистки горячих газов в газовых турбинах.

В общем эффективное уменьшение содержания взвешенных твердых частиц в газовом потоке, образованном при сгорании, остается серьезной проблемой, связанной с отсутствием экономически эффективной системы удаления частиц, в особенности, очень мелких частиц.

Известен процесс акустического спекания частиц, при котором звук высокой интенсивности применяется для спекания частиц субмикронных и микронных размеров в аэрозоли (А.С. СССР № 1393457, М.Кл.<sup>4</sup> B01D 51/08).

Акустическое спекание мелких частиц в горячих газообразных продуктах сгорания и других источниках, несущих тонкую пыль отходящих потоков, изучают с перерывами в течение многих лет. Существующие способы акустического спекания, являющиеся эффективными для получения частиц более крупных размеров (от 5 до 20 мкм) для более эффективного удаления с помощью обычных устройств, не используются в качестве очистных устройств из-за больших потребностей энергии.

Например, известен способ, в котором тонкие частицы зольной пыли размерами менее 5 мкм спекали с использованием высокоинтенсивных акустических полей с высокими частотами, достигающими диапазона 1000-4000 Гц. Эти высокие частоты требовались для недопущения уноса мелких частиц, чтобы осуществлять столкновения между ними и, следовательно, спекание мелких частиц (А.С. СССР № 1519761, М.Кл.<sup>4</sup> B01D 51/08, 1989).

В существующих акустических устройствах акустические поля создаются сиренами, пневматическими рупорами, электромагнитными громкоговорителями и т.п. (А.С. СССР № 768438, М.Кл.

B01D51/08, B01D 31/02, 1980). Генерирование получаемой акустической волны для звукового спекания требует затрат энергии, которые оцениваются в пределах от 0,5 до 2 л.с. (1000 куб.фут/мин (1,3-5,3 кВт/1000 куб. м/мин)). При этом наблюдаются значительные паразитные потери мощности даже в случае эффективных рупоров, сирен и т.п., кпд которых обычно составляет от 8 до 10%.

Сирены, пневматические рупоры и т.п. требуют вспомогательных компрессоров для сжатия воздуха, необходимого для их работы. Требуемое давление обычно значительно превышает давление, имеющееся на выходе компрессора газовой турбины, что создает необходимость в средствах, создающих это требуемое давление, если намечено использовать турбину или использовать вспомогательный компрессор. Электромагнитные акустические устройства требуют специальных конструкций и предосторожностей для того, чтобы обеспечить нужную надежность, эксплуатационную готовность и долговечность оборудования. Для привода некоторых громкоговорителей требуются усилители мощности, чтобы получить давление звука в 160 децибел (дБ) и более. Все указанные акустические системы оказываются, таким образом, неэффективными, по меньшей мере, с точки зрения стоимости.

Известно устройство и способ, в которых используется принцип импульсного сжигания топлива (пат. EP № 0529988, М.Кл.<sup>5</sup> F23C 11/04, F24N 1/20, 1992).

Известное импульсное устройство для сжигания топлива и нагрева текучей среды содержит контейнер для текучей среды (газа или жидкости), которая нагревается, и блок импульсного сжигания, окруженный контейнером. Блок импульсного сжигания содержит камеру сгорания, имеющую базовую стенку и расположенную так, что большая часть ее наружной поверхности находится в контакте с текучей средой в контейнере, при этом в камере сгорания выполнено множество отверстий, одинаково распределенных по поверхности базовой стенки, и множество выпускных труб, которые проходят параллельно от отверстий и перпендикулярно от базовой стенки, при этом практически вся наружная поверхность каждой трубы находится в контакте с текучей средой в контейнере. Кроме того, известное устройство содержит вход для впуска топлива в камеру сгорания, устройство для зажигания топливной смеси и начала пульсационного сжигания топлива и коллектор для сбора твердых частиц, присутствующих в отходящем потоке горячего топливного газа и слипшихся под воздействием высокочастотных (до 2000 Гц) коротковолновых ударных импульсов.

Признаком, являющимся общим для известного и предложенного устройства, является признак "импульсное устройство для сжигания топлива".

Недостатком известного устройства является то, что, хотя в нем и обеспечивается сжигание топлива и агломерация (спекание) мелких твердых частиц в отходящем потоке горячего топливного газа, оно, во-первых, является чрезвычайно энергоемким из-за применения высокочастотных импульсов, и, следовательно, дорогим и неэффективным, и, во-вторых, его конструктивное выпол-

нение не обеспечивает улавливания серы и некоторых других примесей, образующихся при сгорании топлива.

В известном способе нагревают текучую среду и очищают отходящий поток горячих топливных газов от мелких твердых частиц путем воздействия на текучую среду и отходящий поток газов коротковолновыми ударными импульсами звуковой частоты (до 2000 Гц). Для реализации способа используют устройство, описанное выше. Способ включает следующие операции: вводят топливную смесь в камеру сгорания, зажигают ее для начала импульсного сжигания топлива, направляют в выпускные трубы, из которых затем выводят горячий газовый поток с присутствующими в нем и прошедшими коагуляцию и агломерацию (спекание) твердыми частицами и направляют в коллектор для последующего их удаления.

Общим признаком для известного и предложенного способа является признак "способ акустического спекания микрочастиц".

Недостатком известного способа являются большие энергозатраты при его применении из-за использования высокочастотных импульсов, что делает данный способ неэффективным из-за его дороговизны. Кроме того, данный способ не обеспечивает нужного дробления под акустическим воздействием ударных волн очень мелких твердых частиц и они не захватываются процессом спекания, а также в данном способе отсутствует улавливание серы, ее производных и других примесей, образующихся при сжигании топлива.

В задачу изобретения входило создание такого импульсного устройства для сжигания топлива и способа акустического спекания микрочастиц, которые обеспечивают высокую эффективность сжигания, высокую способность к улавливанию серы, высокую степень удаления твердых частиц топлива, небольшие выбросы оксидов азота, высокую степень улавливания щелочных паров, образующихся при сгорании топлива, являются относительно недорогими и не требуют трудоемкой подготовки и предварительной очистки топлива, используемого для сжигания.

Поставленная задача решается тем, что импульсное устройство для сжигания топлива, согласно изобретению, содержит средство для приема газового потока, несущего твердые частицы, и пропускания этого газового потока, импульсное средство сжигания, сообщаемое со средством для приема газового потока и предназначенное для образования пульсирующего потока горячих газообразных продуктов сгорания и акустической волны с частотой в диапазоне от приблизительно 20 до приблизительно 1500 Гц, воздействующей на газовый поток таким образом, что происходит усиленное акустическим воздействием спекание твердых частиц, захваченных газовым потоком, что способствует улучшению удаления указанных спеченных частиц материала.

Кроме того, импульсное средство сжигания расположено внутри средства приема газового потока.

Кроме того, импульсное средство сжигания содержит камеру сгорания, топливный клапан, сообщаемый с камерой сгорания, и резонансную трубу, сообщаемую с камерой сгорания и

имеющую выход внутри указанного средства для приема газового потока, при этом выходное отверстие выходной трубы расположено приблизительно в центре средства приема газового потока.

Кроме того, импульсное устройство сжигания содержит средство удаления спеченных частиц из газового потока.

Кроме того, в качестве средства удаления спеченных частиц использован циклон.

Кроме того, циклон нагревается.

Кроме того, средство приема газового потока содержит две отдельные секции, причем, по меньшей мере, одна из секций содержит кольцевое пространство вокруг резонансной трубы.

Кроме того, импульсное устройство сжигания содержит средство для вдувания топлива в топливный клапан.

Следующим аспектом настоящего изобретения является то, что устройство содержит водяную рубашку вокруг камеры сгорания, обеспечивающую циркуляцию охлаждающей жидкости вокруг указанной камеры сгорания.

Кроме того, резонансная труба составляет приблизительно половину длины кольцевого канала.

Кроме того, импульсное устройство сжигания топлива содержит второй кольцевой канал.

Другим аспектом настоящего изобретения является то, что устройство содержит отражатель звука, расположенный поперек второго кольцевого канала, так что импульсное средство сжигания настроено на получение в кольцевом канале и втором кольцевом канале стоячей волны для уменьшения акустических потерь.

Кроме того, импульсное устройство сжигания топлива содержит средство внесения в устройство влаги для удаления частиц.

Кроме того, средство для внесения влаги содержит патрубок для распыления воды, расположенный относительно импульсного средства сжигания таким образом, чтобы осуществлять непосредственное воздействие влаги на пульсирующий поток горячих продуктов сгорания.

Кроме того, одним из вариантов выполнения настоящего изобретения является то, что импульсное устройство для сжигания топлива содержит средство для приема газового потока, несущего твердые частицы, и пропускания этого потока, импульсное средство сжигания, содержащее камеру сгорания, топливный клапан, сообщаемый с камерой сгорания, и резонансную трубу, сообщаемую с камерой сгорания и имеющую выход внутри указанного средства для приема газового потока, при этом импульсное средство сжигания сообщается со средством приема газового потока для получения пульсирующего потока горячих продуктов сгорания и акустической волны, воздействующей на газовый поток таким образом, что происходит усиленное акустическим воздействием спекание твердых материалов, захваченных газовым потоком, средство для введения улавливающих серу сорбентов в поток горячих продуктов сгорания, средство для введения влаги для воздействия на горячие продукты сгорания для улучшения улавливания серы и удаления твердых частиц.

Поставленная задача решается также тем, что в способе акустического спекания микрочастиц воздействуют на газовый поток с захваченными им частицами посредством импульсной волны акустического давления с частотой в диапазоне от приблизительно 20 до приблизительно 1500 Гц для акустического улучшения спекания частиц.

Кроме того, согласно настоящему изобретению, к потоку горячих продуктов сгорания, включающему предназначенный для спекания твердый материал, и другой газовый поток, несущий другие частицы, прикладывают импульсное акустическое давление.

Кроме того, осуществляют введение влаги в газовый поток, несущий твердые частицы.

Кроме того, удаляют спекшиеся частицы материала для улучшения очистки газового потока.

Еще одним аспектом настоящего изобретения является то, что импульсному давлению подвергают топливовоздушную смесь с измельченным топливом.

Другим аспектом настоящего изобретения является то, что указанные частицы в газовом потоке представляют собой зольную пыль, образующуюся при сгорании угля.

Кроме того, в способе используют волну акустического давления с частотой в диапазоне от приблизительно 50 до приблизительно 250 Гц.

Кроме того, в способе используют тепло, выделяющееся при импульсном сгорании, которое создает температуру ниже той, при которой частицы в потоках начинают шлакование.

Кроме того, другим аспектом настоящего изобретения является то, что направляют очищенный газовый поток к устройству, которое приводится в действие этим газовым потоком.

Еще одним аспектом настоящего изобретения является то, что устройство, которое приводится в действие газовым потоком, является турбиной.

Кроме того, поддерживают тепловую мощность в диапазоне от 1 млн. ВТЕ/час до 6 млн ВТЕ/час (0,29-1,74 тыс. кВт/час).

Кроме того, в предложенном способе газовый поток, несущий твердые частицы, представляет поток горячих продуктов импульсного сгорания, сопровождаемый волной давления.

Еще одним вариантом исполнения способа акустического спекания микрочастиц является то, что сжигают топливо в импульсном режиме для получения горячего потока продуктов сгорания и волны акустического давления с частотой в диапазоне от приблизительно 20 до приблизительно 1500 Гц, объединяют поток продуктов сгорания и волну давления с независимым газовым потоком, содержащим захваченные твердые частицы для акустического усиленного спекания частиц из объединенных потоков, используют объединенный газовый поток для приведения в действие расположенного по ходу потока оборудования.

Следующим вариантом исполнения способа акустического спекания микрочастиц является то, что сжигают топливо в импульсном режиме для получения горячего потока продуктов сгорания и волны акустического давления, воздействуют потоком горячих продуктов сгорания, несущих твер-

дые частицы, на газовый поток, осуществляют внесение влаги в поток горячих продуктов сгорания для улучшения удаления твердых частиц.

Кроме того, еще одним аспектом исполнения способа является то, что в поток горячих продуктов сгорания вводят сорбенты улавливания загрязнений, причем сорбент выбирают из группы, состоящей из известняка, доломита, извести и гашеной извести.

Кроме того, способ характеризуется тем, что загрязнения, улавливаемые сорбентом, включают производные серы.

Кроме того, в поток горячих продуктов сгорания добавляют улавливающий щелочи реагент, причем улавливающий щелочи реагент выбирают из группы, состоящей из инфузорной земли, эмали, кремнезема, боксита, вермикулита, гекторита и каолина.

Кроме того, еще одним исполнением способа является то, что газовый поток поддерживают нагретым во время удаления из него твердых частиц.

Кроме того, еще одним исполнением способа является то, что поток горячих продуктов сгорания сопровождается волна акустического давления.

Кроме того, согласно настоящему изобретению, способ характеризуется и тем, что осуществляют введение сорбента в поток горячих продуктов сгорания.

Благодаря выполнению импульсного устройства для сжигания топлива с импульсным средством сжигания, сообщаемым со средством для приема газового потока, несущего твердые частицы, с возможностью образования пульсирующего потока горячих газообразных продуктов сгорания и акустической волны с частотой в диапазоне от приблизительно 20 до приблизительно 1500 Гц, обеспечивается повышение гранулометрического состава твердых частиц, так как акустические волны вызывают усиление относительного движения твердых частиц и, следовательно, увеличивается частота столкновений твердых частиц и, следовательно, усиление их слипания. В результате акустического воздействия гранулометрический состав быстро смещается от мелкого к более крупному. Крупные частицы могут значительно эффективней быть удалены из потока несущего газа, что позволяет в сочетании со средствами очистки, например циклонами, получить высокоэффективную систему очистки содержащих твердые частицы газов.

В другом варианте выполнения импульсного устройства для сжигания топлива благодаря тому, что оно содержит средство для приема газового потока, несущего твердые частицы, и пропускания этого газового потока, импульсное средство сжигания, содержащее камеру сгорания, топливный клапан, сообщаемый с камерой сгорания, и резонансную трубу, сообщаемую с камерой сгорания и имеющую выход внутри указанного средства приема газового потока, при этом импульсное средство сжигания сообщается со средством приема газового потока для получения пульсирующего потока горячих продуктов сгорания и акустической волны, воздействующей на газовый поток таким образом, что происходит усиленное акусти-

ческим воздействием спекание твердых материалов, захваченных газовым потоком, для улучшения удаления спекшихся твердых материалов, а также содержит средство для введения улавливающих серу сорбентов в поток горячих продуктов сгорания и средство для введения влаги для воздействия на горячие продукты сгорания, обеспечивается, во-первых, не моно-, как в первом варианте исполнения устройства, а бимодальное спекание за счет вторичных частиц сорбента, при суммарное увеличение гранулометрического состава спекаемых твердых частиц, а во-вторых, обеспечивается возможность поглощения сорбентом серных примесей, при этом воздействие капель воды на горячие продукты сгорания приводит к взаимодействию сорбента серы и серных примесей, что способствует улавливанию производных серы и увеличению десульфуризации в устройстве для сжигания.

Другие технические результаты и преимущества предложенного импульсного устройства для сжигания топлива будут более подробно освещены при дальнейшем описании вариантов и частных случаев выполнения.

Благодаря тому, что в способе акустического спекания микрочастиц на газовый поток с захваченными им частицами воздействуют посредством импульсной акустической волны от сгорания с частотой от приблизительно 20 до приблизительно 1500 Гц достигается улучшение акустического воздействия на спекание частиц за счет того, что данное воздействие является низкочастотным и высокоинтенсивным таким образом, что мелкие микронные и субмикронные частицы двигаются с большей относительной скоростью и чаще сталкиваются друг с другом, что изменяет гранулометрический состав частиц в сторону увеличения их размера, а крупные частицы могут более эффективно быть удалены устройством для очистки газового потока. При этом энергетические затраты при применении низкочастотных акустических воздействий уменьшаются в значительной степени.

В одном из предпочтительных вариантов исполнения способа акустического спекания микрочастиц благодаря объединению потока продуктов сгорания и волны давления с независимым газовым потоком, содержащим захваченные газовые частицы, и использованию объединенного потока для приведения в действие расположенного по ходу потока оборудования, обеспечивается усиленное спекание частиц за счет реализации бимодальных процессов вследствие появления большего количества частиц на единицу объема, что еще больше увеличивает вероятность столкновений между частицами, усиливаются ортокинетические воздействия между двумя модами и увеличивается количество спекшихся частиц, что еще в большей степени способствует повышению эффективности процесса спекания.

Еще в одном варианте выполнения способа акустического спекания микрочастиц улучшают процесс спекания частиц благодаря тому, что сжигают топливо в импульсном режиме для получения горячего потока продуктов сгорания и волны акустического давления и воздействуют потоком горячих продуктов сжигания, несущих твердые частицы, на газовый поток при внесении влаги в

поток горячих продуктов сгорания, обеспечивается взаимодействие капель воды с примесями, что улучшает их улавливание при дальнейшей очистке.

Другие технические результаты и преимущества способа акустического спекания микрочастиц будут более подробно освещены при дальнейшем описании вариантов и частных случаев исполнения способа.

Таким образом, предлагаемые импульсное устройство сжигания топлива и способ акустического спекания микрочастиц обеспечивают высокоэффективную очистку газового потока, содержащего твердые частицы, возникающие при сжигании в камере сгорания топлива с высоким содержанием серы, такого как угля.

Изобретение поясняется следующими чертежами:

на фиг.1 схематически показано импульсное устройство для сжигания топлива согласно положениям настоящего изобретения;

на фиг.2 схематически показан один из вариантов реализации импульсного устройства для сжигания топлива (со средством для введения третьего материала);

на фиг.3 схематически показано импульсное устройство для сжигания топлива в виде очистной системы, добавленной к отводящей системе существующей камеры сгорания;

на фиг. 4 схематически показано импульсное устройство для сжигания топлива в виде приставки, добавленной к существующей турбине с приводом от камеры сгорания;

на фиг. 5 показано изображение одной предпочтительной конструкции импульсной камеры сгорания;

на фиг.6 схематически показан один из вариантов реализации импульсного устройства для сжигания топлива согласно положениям изобретения (без средства введения дополнительных частиц в газовый поток);

на фиг.7 схематически показан следующий пример реализации импульсного устройства для сжигания топлива согласно положениям изобретения (с водяной рубашкой);

на фиг. 8 схематически показан следующий пример реализации импульсного устройства для сжигания топлива согласно положениям изобретения (со средством введения дополнительных частиц в газовый поток);

на фиг.9 схематически показан еще один вариант реализации импульсного устройства для сжигания топлива в виде очистной системы, добавленной к отводящей системе существующей камеры сгорания (без средств введения дополнительных частиц в газовый поток);

на фиг. 10 схематически показан следующий вариант реализации импульсного устройства для сжигания топлива в виде очистной системы, добавленной к отводящей системе существующей камеры сгорания (со средством вдувания влаги);

на фиг. 11 схематически показан следующий вариант реализации импульсного устройства для сжигания топлива в виде очистной системы, добавленной к отводящей системе существующей камеры сгорания (с несколькими средствами вдувания различных веществ).

Одно предпочтительное импульсное устройство для сжигания топлива перед подачей газа в турбогенератор объединяет импульсное средство сжигания со средствами улавливания и удаления частиц, как показано на фиг. 1. На фиг. 1 импульсное средство сжигания, обозначенное в целом позицией 1, последовательно соединено линией сообщения со средством улавливания и удаления частиц, в общем обозначенным позицией 2, так, чтобы спеченный материал, образованный в газовом потоке, проходящем через него, мог бы быть удален из газового потока средством улавливания и удаления частиц 2. После того, как средство улавливания и удаления частиц отделяет частицы от потока газообразных продуктов сгорания, газовый поток продолжает в этом конкретном варианте реализации приводить в действие газотурбинный генератор 3. Турбина 3 передает вращение на генератор 4 и воздушный компрессор 5. Поскольку газовый поток, подающийся на турбину, подвергают акустическому спеканию и удалению механического материала согласно настоящему изобретению, поток газа оказывается достаточно чистым для того, чтобы приводить в действие турбину 3 без заметного отрицательного воздействия на нее.

Импульсное средство сжигания 1 включает топливное клапанное средство 6 (фиг.2), которое предпочтительно является аэродинамическим клапаном (струйным диодом), хотя возможно также применение клапана тому подобного вида. Камера сгорания 7 сообщается с клапанным средством 6 и в зависимости от потребности получает через него топливовоздушную смесь. С камерой сгорания 7 сообщается резонансная труба или хвостовая труба 8. Устройство, являющееся предметом настоящего изобретения, включает также средство 9 для внесения в агломератор дополнительных частиц. Эти дополнительные частицы предпочтительно вносятся в импульсное средство сжигания 1, как показано на фиг.1, и объединяются с частицами в потоке горячих продуктов сгорания, образуя спеченный материал, как описано далее. Кроме того, импульсное средство сжигания 1 может включать воздушную камеру 10 и форсажную камеру (не показана). Резонансная труба 8 может быть представлена одной трубой или хвостовой трубой, как показано на фиг.1, или множеством труб и в одном предпочтительном варианте реализации плавно расширяется в направлении от камеры сгорания 7. Резонансная труба 8 с раструбом служит диффузором, позволяющим уменьшить скорость газа на выходе из камеры сгорания 7 и обеспечивает рециркуляцию продуктов сгорания и увеличение резонансного времени частиц в пределах импульсного средства сжигания 1.

В варианте реализации, показанном на фиг.1, сжатый воздух из компрессора 5 подают в воздушную камеру 10 для увеличения тяги топливной смеси, поступающей в импульсное средство сжигания 1, хотя это и необязательно. Резонансная труба 8 размещается таким образом, что ее внешний открытый конец позволяет продуктам сгорания из камеры 7 поступать в средство приема газового потока, представленного секцией 11 хотя, как упоминалось выше, в рамки настоя-

щего изобретения входит много различных вариантов технических решений. Газ проходит через приемное средство 11, в котором, как описано ранее, происходит спекание частиц.

В варианте реализации изобретения, показанном на фиг.1, импульсное устройство сгорания является автономной системой с непосредственным горением в отличие от дополнительной подсистемы контроля выбросов, описанной так, как показано на фиг.3. Поэтому газовый поток является потоком продуктов сгорания из камеры сгорания 7 и включает нежелательные частицы, от которых его необходимо очистить согласно настоящему изобретению и направить в турбину 3.

Средство улавливания и удаления частиц 2, сообщаемое с импульсным средством сжигания 1, включает циклон 12 (тканевый фильтр, скруббер или тому подобное устройство) для удаления твердых частиц. Как показано на фиг.1, циклон 12 снабжен воронкой 13 с отверстием 14 для удаления из нее твердых отходов. Средство улавливания и удаления 2 сообщается также с газовой турбиной 3, так что поток очищенного газа может непосредственно воздействовать на нее в нужном эксплуатационном режиме. Все устройство может быть футеровано огнеупорами и может быть водоохлаждаемым, в зависимости от потребностей системы в тепловой энергии.

В варианте реализации, показанном на фиг.1, воздушная камера 10 сообщается с обходными воздушными каналами 15, через которые в средство приема газового потока 11 может поступать дополнительный воздух, чтобы дополнительно усилить спекание частиц.

Импульсное средство сжигания, в предпочтительно применяемой в настоящем изобретении форме, обычно включает, по меньшей мере, один аэродинамический клапан 6 или струйный диод, камеру сгорания 7 и, по меньшей мере, одну резонансную трубу 8. Подходящую топливовоздушную смесь пропускают через клапан 6 в камеру сгорания 7 и зажигают. При запуске предусмотрено использование вспомогательного устройства зажигания. Взрыв топливной смеси вызывает резкое увеличение объема и выделения продуктов сгорания, которые сжимаются в камере сгорания 7. При расширении горячего газа возникает потенциальное течение в направлении резонансной трубы 8 со значительным импульсом. После этого в камере сгорания 7 из-за инерции газов в резонансной трубе 8 возникает вакуум. Только небольшой части отходящих газов удается вернуться в камеру сгорания 7, в то время как остальной газ покидает резонансную трубу 8. Из-за того, что давление в камере сгорания 7 оказывается ниже атмосферного давления, в камеру сгорания 7 всасывается дополнительная топливовоздушная смесь и осуществляется автоматическое зажигание. И вновь клапанное средство 6 ограничивает течение в обратном направлении, а цикл возобновляется. После инициирования первого цикла процесс становится самоподдерживающимся. Топливный клапан, применяемый во многих системах импульсного сгорания, является механическим клапаном типа «откидного клапана». Откидной клапан в действительности является запорным клапаном, допускающим течение в направлении



камеры сгорания и ограничивающим течение в обратном направлении за счет расположения механического седла. Хотя в настоящей системе и может использоваться такой механический клапан, предпочтительным является механический клапан без движущихся частей. При использовании аэродинамических клапанов во время хода расширения в клапане возникает граничный слой, и турбулентные завихрения в значительной степени гасят течение в обратном направлении. Кроме того, выхлопные газы имеют гораздо более высокую температуру, чем газы на входе. В соответствии с этим вязкость газа значительно выше, и обратное сопротивление диаметра входа, в свою очередь, значительно выше, чем в отношении к направленному вперед течению через то же самое отверстие. Такое явление наряду с большой инерцией выхлопных газов в резонансной трубе, способствует в своем сочетании возникновению предпочтительного и среднего течения от входа к выхлопу. Таким образом, предпочтительное импульсное средство сжигания является самовсасывающим двигателем, самостоятельно всасывающим воздух и топливо в камеру сгорания, в след за чем следует автоматическое зажигание.

Импульсные системы сжигания регулируют собственную стехиометрию в определенных пределах горения без необходимости в сложном контроле с целью регулирования соотношения массового расхода топлива и воздуха. При повышении расхода топлива возрастает интенсивность пульсаций давления в камере сгорания, что, в свою очередь, ведет к увеличению количества воздуха, всасываемого аэродинамическим клапаном, что позволяет устройству сжигания автоматически поддерживать, по существу, постоянную стехиометрию в заданном конструкцией диапазоне. Заданную стехиометрию можно изменить путем исправления струйной двусторонней пропускной способности аэродинамического клапана.

Предпочтительное импульсное средство сжигания, применяемое в настоящем случае для сжигания угля, основано на модели Гельмгольца с аэродинамическим клапаном. Колебания давления, наведенные сгоранием в имеющей форму резонатора камере сгорания Гельмгольца, наряду со струйной двусторонней пропускной способностью аэродинамического клапана вызывает течение по диагонали от входа в камеру сгорания к выходу в резонансной трубе. Это ведет к самовсасыванию камерой сгорания воздуха для горения и к возрастанию среднего давления в камере сгорания, вызывающему выбрасывание продуктов горения через резонансную трубу с высокой средней скоростью потока более 1000 фут/сек (305 м/сек).

Неотъемлемой особенностью импульсного сжигания является получение мощной акустической волны. Мощность звука на участках, прилегающих к стенке камеры импульсного сгорания, часто составляет порядка 110-190 дБ, и может быть изменена в зависимости от нужной частоты акустического поля, чтобы добиться выполнения конкретных задач, для которых предназначено импульсное устройство сжигания.

Быстрые колебания давления в камере сгорания вызывают интенсивные колебания поля те-

чения. В случае сгорания угля пульсирующее поле течения вызывает унос продуктов сгорания от принимающего участия в реакции твердого угля, обеспечивая таким образом доступ к кислороду при незначительном ограничении диффузии или полном его отсутствии. Во-вторых, для импульсных устройств сжигания характерна очень большая интенсивность массопереноса и теплопереноса в зоне горения. В то время как эти камеры сгорания имеют тенденцию к очень высокой интенсивности выделения тепла (обычно в десять раз больше по сравнению с обычными горелками), интенсивный массоперенос и теплоперенос в зоне горения способствуют достижению более равномерной температуры. Таким образом, получающиеся пиковые значения температуры значительно ниже, чем в случае обычных систем, что ведет к значительному уменьшению образования оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ). Высокая интенсивность выделения теплоты способствует также уменьшению требуемых размеров камеры сгорания при заданном расходе топлива и уменьшению требуемого времени резонанса.

Настоящее изобретение особенно полезно в случаях, когда в импульсном устройстве сжигания сжигают дешевое, обладающее высоким содержанием серы и высокой зольностью измельченное (пылеугольное) топливо. Спекание частиц и их эффективное удаление с помощью настоящего изобретения позволяет использовать в настоящем устройстве сжигания стандартный измельченный уголь. Этот уголь, в частности, позволяет получить более крупные частицы золы по сравнению с тем, которые образуются при сгорании топлива, измельченного до микронных размеров, что способствует возникновению центров спекания мелких частиц зольной пыли в потоке газообразных продуктов сгорания при более низких частотах, как описано здесь. Экономические преимущества такого варианта очевидны, поскольку стандартное измельченное топливо дешевле измельченного до микронных размеров. Лучше также использовать угли, не прошедшие глубокого обогащения с дорогостоящим уменьшением содержания золы. Возрастание массовой нагрузки частиц золы от средних до больших размеров, которые должны получаться в результате сгорания умеренно обогащенного топлива, способствует повышению эффективности действия бимодального динамического фильтра при спекании частиц согласно настоящему изобретению. Конечно, использование стандартного измельченного топлива ведет также к повышению содержания загрязнений, таких как производные серы и в особенности двуокиси серы, и выделению паров щелочей, таких как хлорид натрия, хлорид калия и сульфат натрия. Однако эти дополнительные загрязнения могут быть эффективно удалены из потока газа в соответствии с настоящим изобретением и продукты сгорания, образующиеся из стандартного измельченного угля, могут быть подвергнуты эффективному спеканию и удалению.

Пульсирующее поле потока, создаваемое импульсным средством сжигания 1, обеспечивает высокую интенсивность межфазного и межчастичного массопереноса. Благодаря достаточно высокой температуре сгорания топливной пыли на

выходе резонансной трубы 8 импульсного средства сжигания оказывается по существу полным. Кроме того, температура может поддерживаться на уровне ниже необходимого для плавления золы, если предпочитается осуществление процесса без ошлаковывания. Однако температура может быть повышена до температуры плавления золы, если требуется процесс ошлаковывания. Кроме того, дополнительное время нахождения в выбрасывающей наружу пламя резонансной трубе обеспечивает высокую степень превращения углерода и, в свою очередь, высокую эффективность сгорания.

Выход летучих веществ и сгорание топливной мелочи в импульсном средстве сжигания способствуют также выделению значительной части серы, находящейся в топливе, до того времени как топливная мелочь покинет хвостовую трубу или резонансную камеру. Согласно настоящему изобретению, более конкретно описанному ниже, внесенные частицы могут быть, и предпочтительно являются, сорбентом для серы, который обеспечивает высокую вероятность поглощения серы частицами сорбента. Рециркуляция мелочи, как следствие конструкции резонансной трубы, также способствует достижению высокой эффективности улавливания серы при низких молярных соотношениях подачи  $\text{Ca/S}$ , что ведет к снижению затрат на сорбент и удаление отходов. Импульсные устройства сжигания являются по своей сути устройствами с низким образованием  $\text{NO}_x$ . Интенсивность теплопереноса в пульсирующем течении выше, чем в обычных системах с устойчивым потоком, что ведет к понижению общего уровня температуры в камере сгорания. Кроме того, высокая интенсивность смешивания между горячими продуктами сгорания и более холодными остатками от предыдущего цикла сгорания и входящими холодными реагентами создает короткое время резонанса при высокой температуре, что ослабляет образование  $\text{NO}_x$ . Эти дополнительные механизмы создают окружение с низким образованием  $\text{NO}_x$ . Следовательно, эмиссии  $\text{NO}_x$  в системах согласно изобретению более низкие, чем в обычных камерах сгорания.

Импульсное устройство для прямого сжигания топлива в системе удаления частиц, показанное на фиг.1, работает следующим образом.

Топливоздушная смесь подается в воздушную камеру 10, а затем через одно или более клапанное средство 6 к камере сгорания 7. Первоначальная смесь, входящая в камеру сгорания 7, зажигается воспламенителем, например, искрой, газовой горелкой или подобным устройством 16. Образованные продукты сгорания затем резонируют через резонансную трубу 8. Как описано выше, как только начальный цикл сгорания начинается, импульсное сжигание становится самоподдерживающимся.

При сжигании соответствующего топлива импульсное средство сжигания 1 производит интенсивную акустическую волну в виде вызываемых сгоранием колебаний давления. Звуковое поле, производимое сжиганием, резонирует через резонансную трубу 8 и действует непосредственно на поток газа, несущий частицы. Никакого сжатого воздуха (такого который приводит в действие

сирену или рупор) или электричества (используемого для привода электромагнитного громкоговорителя) не требуется. Как указывалось выше, дополнительный сжатый воздух, однако, (который может быть рециркулирован) может подаваться в воздушную камеру 10 для увеличения тяги. Импульсное средство сжигания снимает, таким образом, потребность в паразитной мощности для создания акустического поля.

В устройстве прямого сжигания угля и способе, являющимися предметом настоящего изобретения, импульсное средство сжигания создает пульсирующий поток газообразных продуктов сгорания с захваченными им первыми частицами. Эти первые частицы являются обычно мелкой зольной пылью, образующейся при сгорании топливоздушной смеси и имеющей размеры около 4 мкм. Акустическая волна, создающаяся импульсным средством сжигания 1, воздействует на газовый поток с целью осуществления акустически усиленного бимодального спекания частиц в газовом потоке, когда в нем присутствует дополнительные, или другие частицы иного гранулометрического состава. Бимодальное образование спеченных частиц способствует увеличению общих размеров частиц и улучшению удаления спеченных частиц обычными способами. Эффективность процесса спекания улучшается за счет увеличения суммарной удельной массы частиц, рассеянных в газовом потоке. При данном гранулометрическом составе более высокая удельная масса способствует появлению большего количества частиц на единицу объема что, в свою очередь, увеличивает вероятность столкновений между частицами, ведущих к спеканию. В соответствии с этим добавление второго вида, обозначенное здесь как внесение в поток горячих газообразных продуктов сгорания или другой поток дополнительных частиц, ведет к увеличению суммарной массы. Реализованная благодаря этому бимодальная процедура способствует повышению эффективности процесса спекания.

В дополнение к этому явлению зависимости от массы, дальнейшее увеличение столкновений частиц и, следовательно, увеличение спекания получают благодаря усилению ортокинетических взаимодействий между двумя модами. Происходит также гидродинамические взаимодействия. Предпочтительно, что вторичные частицы, которые вводятся в поток горячих продуктов сжигания, будут иметь больший гранулометрический состав, чем частицы уже попруженные в поток газа, по причине того, что между частицами происходит более относительное движение, что усиливает спекание.

Вторичные частицы также вводятся предпочтительно в сочленение между резонансной трубой 8 и камерой сгорания 7 или рядом с ним, которое является областью высокого выделения теплоты и высокого теплопереноса, особенно когда вторичные частицы являются сорбентом для серы и т.п. Высокий нагрев таким образом обеспечивает высокий уровень кальцинации сорбента, обеспечивая высокую пористость у кальцинированного сорбента, который, в свою очередь, генерирует высокое отношение поверхности к массе без потребности микронизации сорбента. Вместе

с действием поля потока колебаний на газовый массоперенос введение частиц в точку, в которой акустическая волна может влиять на частицы, усиливает использование сорбента при относительно низких молярных соотношениях кальция и серы.

Средство для сжигания топлива соответственно изобретению производит низкочастотные акустические поля с частотами в диапазоне от 20 до 1500 Гц. Более высокие частоты дают рост большему числу циклов твердых частиц в расчете на единицу времени в газовом потоке, на который воздействует акустическое поле. Однако повышение частоты ведет к пропорциональному уменьшению амплитуды относительного движения частиц за колебание.

Как было показано выше, более высокие частоты часто вызывают значительное выделение тонких частиц в газовом потоке. Однако поскольку, как показано здесь, размеры дополнительных частиц, вносимых в поток горячих продуктов сгорания, подбираются предпочтительно таким образом, чтобы быть больше частиц, уже находящихся в потоке, необходимая для осуществления выделения частота уменьшается. Так, например, для частиц размерами 100 мкм в газовом потоке при температуре 1600° F (871° C) и давлении 10 атм. коэффициент уноса должен составить 0,1 при частоте всего 100 Гц. Таким образом, амплитуда колебательного смещения частиц составляет всего от этого показателя для газового потока со значительным (около 90% от амплитуды смещения газа) относительным смещением газового потока и частиц. Зольная пыль будет почти полностью захвачена пульсирующим полем течения с коэффициентом уноса при частоте около 100 Гц, превышающим 0,99. Это, в свою очередь, ведет к столкновению между частицами зольной пыли и более крупными частицами сорбента, становящимися центрами спекания, вызывая спекание частиц зольной пыли с дополнительными частицами. Поскольку амплитуда относительного движения частиц зольной пыли, захваченных газовым потоком, и дополнительных частиц должна быть порядка 80-90% от амплитуды колебательного смещения газа, а такие смещения выше при низких частотах, количество столкновений за один цикл колебаний увеличивается. Таким образом, этот бимодальный подход к спеканию частиц, который по сути своей означает, что происходит спекание между собой частиц различного гранулометрического состава, образует форму динамического фильтра для сбора частиц зольной пыли на других, более крупных частицах, внесенных в газовый поток.

Предпочтительно, чтобы импульсное средство сжигания генерировало акустические поля с частотами от приблизительно 50 до приблизительно 250 Гц. Высокоинтенсивные акустические поля обладают уровнями давления звука, обычно превышающими 160 дБ, обеспечивая значительно более высокие характеристики массопереноса. Эти характеристики способствуют повышению утилизации сорбента, увеличивая интенсивность переноса производных серы к поверхности частиц сорбента и повышая проникновение в пористую структуру обожженных частиц

сорбента. Обладающее высокой интенсивностью акустическое поле улучшает также акустическое спекание, изменяя гранулометрический состав частиц таким образом, что мелкие микронные и субмикронные частицы спекаются, становясь более крупными частицами, которые могут быть более эффективно удалены обычными устройствами для удаления твердых частиц.

Согласно настоящему изобретению улавливание загрязнений, таких как производные серы, происходит одновременно со спеканием частиц в газовом потоке. Дополнительные частицы, которые вносятся в газовый поток, в особенности при сжигании угля, предпочтительно представлены сорбентами серы, такими как известняк, доломит, гидратная известь или тому подобное и предпочтительно подбираются таким образом, что их размер частиц превышает размер частиц, предназначенных для спекания. Гранулометрический состав дополнительных частиц предпочтительно составляет от приблизительно 100 до приблизительно 150 мкм. Более крупные дополнительные частицы уменьшают частоту, требующуюся для достижения значительного выделения частиц из газового потока. Это ведет к столкновениям между микрочастицами и более крупными частицами сорбента, вызывая таким образом спекание частиц с сорбентом. Размеры частиц и их распределение по размерам, применяемые в данном случае, будут относиться к размерам частиц в рамках схемы распределения. Поэтому более крупные размеры или гранулометрический состав частиц относятся к шкале распределения размеров, в которую входят более крупные частицы.

Частицы пористого оксида кальция, используемого в качестве сорбента, под воздействием интенсивного акустического поля легко вступают в реакцию с содержащимися в горячих газообразных продуктах сгорания производными серы, такими как SO<sub>2</sub>, образуя твердый сульфат кальция (CaSO<sub>4</sub>) внутри и возле пор, а также на поверхности сорбента. Сульфатированные частицы и зольная пыль от процесса сгорания спекаются и могут быть легко удалены из газового потока.

Эффективное акустическое улучшение спекания частиц окажется в наибольшей степени выраженным при увеличении размеров частиц сорбента. Это связано с тем фактом, что акустически усиленное межчастичное течение будет способствовать повышению диффузионных ограничений, с которыми приходится сталкиваться в отношении более крупных частиц. И улучшение десульфурации, и эффективное спекание частиц с их удалением могут быть достигнуты одновременно без необходимости использовать дорогостоящие поглощающие материалы. Одновременные улавливание загрязнений и спекание, применяемые в данном случае, относятся в общем к одному и тому же времени и в одном проходе.

После сформирования спеченного материала содержащий его газовый поток проходит через средство улавливания и отделения 20, где спеченный материал отделяют от газового потока и удаляют. После этого очищенный газовый поток можно использовать для привода газовой турбины 3, которая в свою очередь может осуществлять привод компрессора 5 и/или генератора 4. Если для

турбины 3 или какого либо другого устройства, в котором используется газ, требуется нагретый газ, средство улавливания и удаления 2 может нагреваться для поддержания температуры газового потока на нужном повышенном уровне устройством 17. Поток очищенного газа, включающий в основном газообразные продукты без значительного количества загрязнений, таких как производные серы и оксиды азота, может выбрасываться в атмосферу без заметного ее загрязнения.

Еще один вариант реализации устройства, являющегося предметом настоящего изобретения, показан на фиг.2, и включает элементы, аналогичные изображенным на фиг.1, причем элементы, обозначенные одинаковыми числовыми позициями, означают одинаковые элементы. Для дополнительной подачи топлива в канале между камерой сгорания 7 импульсного средства сжигания 1 после клапанного средства 6 предусмотрено инжекционное отверстие 18. Кроме того, вместо плавно расширяющейся резонансной трубы 8, показанной на фиг.1, на фиг.2 показана относительно прямая резонансная камера 8 с диффузорной секцией 19 на внешнем конце. Диффузорная секция 19 обеспечивает рециркуляцию мелких частиц с целью уменьшения выброса NOx.

Подобно устройству, показанному на фиг.1, на фиг.2 показано средство внесения дополнительных частиц 9 для добавления дополнительных частиц в поток горячих продуктов сгорания. Отверстие 9 для внесения дополнительных частиц может быть расположено рядом с резонансной камерой 8, как показано на фиг.1 и 2, или же может, в другом варианте, быть расположенным в любом месте импульсного устройства для сжигания топлива, где на частицы воздействует акустическая волна, которую генерирует импульсное средство сжигания 1. Например, дополнительные частицы могут вноситься в устройство в точке, расположенной позади резонансной трубы 8. В таком устройстве средство внесения дополнительных частиц 9 должно быть расположено таким образом, чтобы акустическая волна воздействовала на газовый поток с целью улучшения спекания частиц. Как было показано выше, дополнительные частицы предпочтительно являются сорбентом, предназначенным для поглощения различных загрязнений, таких как производные серы. Кроме того, поскольку изобретение относится к бимодальному устройству и способу, гранулометрический состав дополнительных частиц, внесенных в газообразный поток, должен отличаться от гранулометрического состава частиц, первоначально содержащихся в газовом потоке. В наиболее предпочтительном варианте реализации изобретения дополнительные частицы должны иметь более крупные размеры. Устройство, изображенное на фиг.2, включает также дополнительное впускное средство 20 для внесения в газовый поток третьего материала. В процессе сгорания твердых топлив часто образуются пары щелочей, таких как хлорид натрия, хлорид калия и сульфат натрия. Эти пары щелочей могут вступать в реакцию с заполненными серой частицами сорбента, образуя на поверхности сорбента сульфиды щелочей и препятствуя продолжению эффективного поглощения. С целью улавливания таких паров ще-

лочей через третье впускное средство 20 могут вдуваться поглощающие щелочи материалы, такие как инфузорная земля, эмаптит, кремнезем, боксит, вермикулит, гекторит и каолин. Вдувание поглощающих щелочи материалов дополнительно повышает эффективность динамического фильтра в процессе бимодального спекания благодаря дальнейшему увеличению удельной массы твердого материала и образованию в топочном газе более крупных центров спекания, удаляющих мелкие частицы из газового потока. Кроме того, в варианте, показанном на фиг.2, возможно вдувание дополнительного воздуха через входное отверстие 21 с целью дальнейшего увеличения интенсивности столкновений между частицами в процессе спекания.

Импульсное средство сжигания 1 изображено на фиг.2 сообщающимся со средством улавливания и удаления частиц 2, основная компоновка которого описана выше со ссылкой на фиг.1. Средство улавливания и удаления 2 включает циклон 12, воронку 13 и, кроме того, может включать бункер для твердого материала 22 для дальнейшего размещения частиц, удаленных из газового потока. Циклон 12 имеет выпускное отверстие 23, через которое поток очищенного газа может пропускаться к турбине (не показана) или другому приводимому в действие газом устройству. Циклон 12 может нагреваться так, как описано выше, может работать при температуре окружающей среды, или же иметь систему водяного охлаждения, в зависимости от того, что окажется предпочтительным.

В то время как настоящее изобретение проиллюстрировано как относящееся к системе эксплуатации устройства, приводимого в действие газом, та же концепция может быть применена к любой системе, для которой требуется или которая обогащается потоком чистого газа, или очистке газового потока перед выбросом его в атмосферу. Поэтому между импульсным средством сжигания и системой удаления твердых частиц могут быть расположены другие устройства, такие как котлы, нагреватели или тому подобное.

На фиг.3 проиллюстрирован в качестве примера вариант реализации настоящего устройства, применяемого в качестве подсистемы для контроля выбросов, включенного в существующий газовый канал, такой как отходящий от любой камеры сгорания. Одинаковыми числовыми позициями обозначены одинаковые элементы, показанные на фиг. 1, 2 и 3. Приведенная в качестве примера камера сгорания (не показана) выбрасывает газовый поток через канал 24. Импульсное средство сжигания, обозначенное в целом позицией 1, расположено в канале 24, или иным образом сообщается с ним при условии, что акустическое поле воздействует на газовый поток, находящийся в канале 24. Несущий с собой твердые частицы газовый поток, протекающий от системы сгорания (не показана) по каналу 24, образует комбинированный содержащий твердые частицы поток вместе с горячими продуктами горения, отходящими из импульсного средства сжигания 1. Импульсное средство сжигания 1 может включать описанные ранее элементы, но, по меньшей мере, должно

включать основные клапанные средства 6, камеру сгорания 7 и резонансную трубу 8.

Как было описано выше, в поток горячих продуктов сгорания, отходящих от импульсного средства сжигания 1, через средства внесения дополнительных частиц 9 вносят дополнительные частицы. Частицы предпочтительно вносят возле сочленения камеры сгорания 7 и резонансной трубы 8, что обеспечивает воздействие на дополнительные частоты высокой температуры. В примерах, когда между частицами в канале 24 и частицами в потоке продуктов сгорания от импульсного средства сжигания 1 существует достаточная разница в гранулометрическом составе, добавление дополнительных частиц может оказаться необязательным.

Комбинированный поток газа, несущего твердые частицы и образованного путем соединения отходящих продуктов в канале 24 и продуктов сгорания от импульсного устройства сжигания 1 ведет к формированию в канале 24 спеченного материала. Акустическое поле, создаваемое импульсным средством сжигания 1, способствует этому спеканию, так что получившийся спеченный материал может быть затем направлен к обычному средству улавливания и удаления (не показано). После удаления твердых частиц топочный газ может приводить в действие турбину или иное устройство или же выбрасываться в виде очищенных газов в атмосферу.

В канале 24 обычно в том месте, где отходящие продукты существующей камеры сгорания и продукты сгорания от импульсного устройства сжигания сливаются в единый поток, расположен эжектор 25. Эжектор 25 может быть обычным устройством, допускающим смешивание газов, и должен быть расположен на участке сильного ускорения газового потока с последующим замедлением для дальнейшего выделения частиц и массопереноса. Эжектор способствует также спеканию частиц из-за различия в степени выделения более крупных частиц по сравнению с более мелкими частицами (обычно легко уносимыми твердыми зольными частицами). Включение в систему эжектора 25 облегчает также регулирование подачи воздуха с целью совершенствования контроля выбросов  $\text{NO}_x$ , способствует улучшению акустической связи между резонансной камерой 8 и участком канала 24, на котором происходит акустическое спекание, обеспечивая хорошее перемешивание в потоке твердой и газовой фаз.

На фиг. 4 схематически изображено импульсное устройство для сжигания топлива, применяемое в качестве дополнительной подсистемы как описано в примере на фиг.3. Импульсное устройство для сжигания топлива, являющееся предметом настоящего изобретения и обозначенное общей позицией 26, показано включенным в линию между существующей системой сгорания 27 и устройством 28, приводимым в действие газом, и включает импульсное средство сжигания 29 и средство улавливания и удаления твердых частиц 30. Система может быть скомпонована так, как показано на фиг.3, или иным образом. Аналогичным образом, как описано выше для некоторых видов применения, очистка может располагаться за операционной системой, такой как котел, будучи

предназначенной в первую очередь для очистки отходящих газов.

В другом конкретном варианте реализации настоящего изобретения из конструкции может быть исключено средство внесения дополнительных частиц. В частности, в случае, если вдуваемое в систему топливо и/или сорбент имеют широкий разброс по гранулометрическому составу, для акустического спекания при последующем улавливании и удалении твердых частиц приемлемым оказывается мономодальный гранулометрический состав. Одна из таких конструкций системы, иллюстрирующая устройство мономодального спекания, показана на фиг.6, на которой одинаковыми числовыми позициями обозначены одинаковые элементы на предыдущих фигурах и на фиг.6. На фиг.6 поток горячих продуктов сгорания, образующихся в процессе импульсного сжигания вдуваемого топлива, оказывается достаточным с точки зрения гранулометрического состава частиц, чтобы допустить эффективное спекание частиц. Подобно устройству, показанному на фиг.1, частицы удаляют из системы, а очищенный газ поступает к турбине 3.

На фиг. 7 проиллюстрирована еще одна компоновка импульсного устройства для сжигания топлива, являющегося предметом настоящего изобретения. В частности, камера сгорания 7 сообщается со средством для приема газового потока, представленным секцией 11, которая сообщается далее с циклонным устройством 12, выполненным со средством сбора, таким как воронка 13. Устройство, показанное на фиг.7, функционально идентично показанному на фиг.1, за исключением того, что отсутствует средство внесения дополнительных частиц 9 и добавлены различные другие усовершенствования. В частности, предусмотрено средство вдувания 31 для подачи в импульсную камеру сгорания 7 топлива, такого как уголь, нефть, газ, мусор т.п. Различные сорбенты для удаления газов, содержащих сероводород или улавливания щелочей, могут добавляться через отверстие 18. Однако отверстие 18 не является обязательным для практического осуществления процесса спекания.

В конкретном варианте реализации, показанном на фиг.7, импульсная камера сгорания 7 имеет водяную рубашку, снабженную впускным патрубком 32 для охлаждения воды и отводящим патрубком 33 для горячей воды и пара. Кроме того, секция 11 для приема газового потока, которая служит камерой спекания, состоит из внутренней секции 34 и наружной кольцевой секции 35, причем резонансная труба 8 простирается приблизительно на половину длины внутренней секции 35. В поперечном направлении установлен отражатель звука 36, предназначенный для настройки импульсного средства сжигания. Эта конкретная компоновка резонансной трубы 8 и камеры сгорания 7 применена с целью получения во внутренней секции 34 и кольцевом пространстве 35 стоячей волны (половинной волны) с тем, чтобы свести к минимуму акустические потери. Камера спекания 11 служит пучностями давления и центром, соответствующим пучности скорости и узлу давления. Резонансная труба 8 образует пучность скорости при расположении вблизи от центра средст-

ва приема газового потока 11 для подходящих граничных условий и минимизации затухания звука. Кроме того, предусмотрено средство улавливания 37 для удаления из камеры спекания выделенного спеченного материала. Окончательное удаление твердых частиц выполняется так, как описано выше для устройства, изображенного на фиг.1. Еще в одном варианте реализации, показанном на фиг. 8, изображено устройство с применением бимодального процесса. Устройство идентично показанному на фиг.7 и в основе своей идентично тем, которые изображены на фиг.1 и 2. Предусмотрено устройство 9 внесения дополнительных частиц, предназначенное для внесения частиц иных размеров с целью осуществления бимодального спекания, описанного выше. По желанию это отверстие 9 может использоваться для подачи дополнительного воздуха, топлива или сорбента для контроля образования оксидов азота, удаления газов, содержащих сероводород, улавливания щелочей или иных целей. Так, например, ступенчатое изменение подачи воздуха или добавки для достижения газа могут быть использованы для контроля образования оксида азота. Доломит, известняк или гашеная известь могут быть добавлены для улавливания серы, а инфузорная земля, каолинит или гекторит могут использоваться для улавливания щелочей.

Другие конструкционные решения могут быть использованы в средстве сжигания. Так, например, односекционная камера спекания может иметь форму U-образной трубы с целью получения полной волны в камере с резонансной трубой 8, соответствующей приблизительно четверти длины волны. Такое устройство очевидно соответствует настоящему изобретению, однако изобретение не ограничивается им.

На фиг.9 представлено другое импульсное устройство для сжигания топлива. Устройство идентично дополнительной системе очистки, показанной на фиг.3, за исключением того, что исключено средство 9 для внесения дополнительных частиц. В данной системе имеет место мономодальное спекание без необходимости во внесении частиц иных размеров.

На фиг. 10 проиллюстрирована другая система очистки, подобная изображенной на фиг.3 и 9. Однако в нее включено средство вдувания 38, предназначенное для внесения влаги в систему. В частности, в систему в качестве увлажняющего агента может впрыскиваться вода. В присутствии воды происходит улучшение процесса десульфурации, происходящего в канале, что связано с взаимодействием сорбента серы и капель воды, улучшающим улавливание серы.

На фиг. 11 представлена еще одна система очистки. Однако в этом конкретном варианте реализации предназначенное для увлажнения средство вдувания 38 применено вместе с различными другими средствами вдувания 39 и 40. Через эти средства вдувания могут быть внесены различные реагенты, такие как разнообразные сорбенты, восстановители или материалы, улавливающие щелочи. При использовании в данной конкретной компоновке предназначенное для увлажнения средство вдувания 38 размещается в достаточной близости к средству вдувания 39, так что любой

сорбент серы, внесенный в систему, улучшает взаимодействие сорбента серы и капель воды. Средство вдувания 39 может быть расположено непосредственно перед предназначенным для увлажнения средством вдувания с целью сведения к минимуму вероятности обжига и отрицательного воздействия на использования сорбента. Таким образом, возможно осуществление бимодального спекания, в отличие от мономодального спекания, имеющего место в процессе, показанном на фиг. 10.

Для всех устройств, показанных на фиг. 6-11, процесс спекания твердых частиц идентичен описанному выше, за исключением того, что в некоторых вариантах имеет место мономодальное спекание без внесения дополнительных частиц иных размеров.

В некоторых вариантах реализации настоящего изобретения предпочитается конструкция импульсной камеры сгорания, показанная на фиг.5. В этой конструкции применяются генераторы квадратной формы для описания осесимметричной геометрической формы.

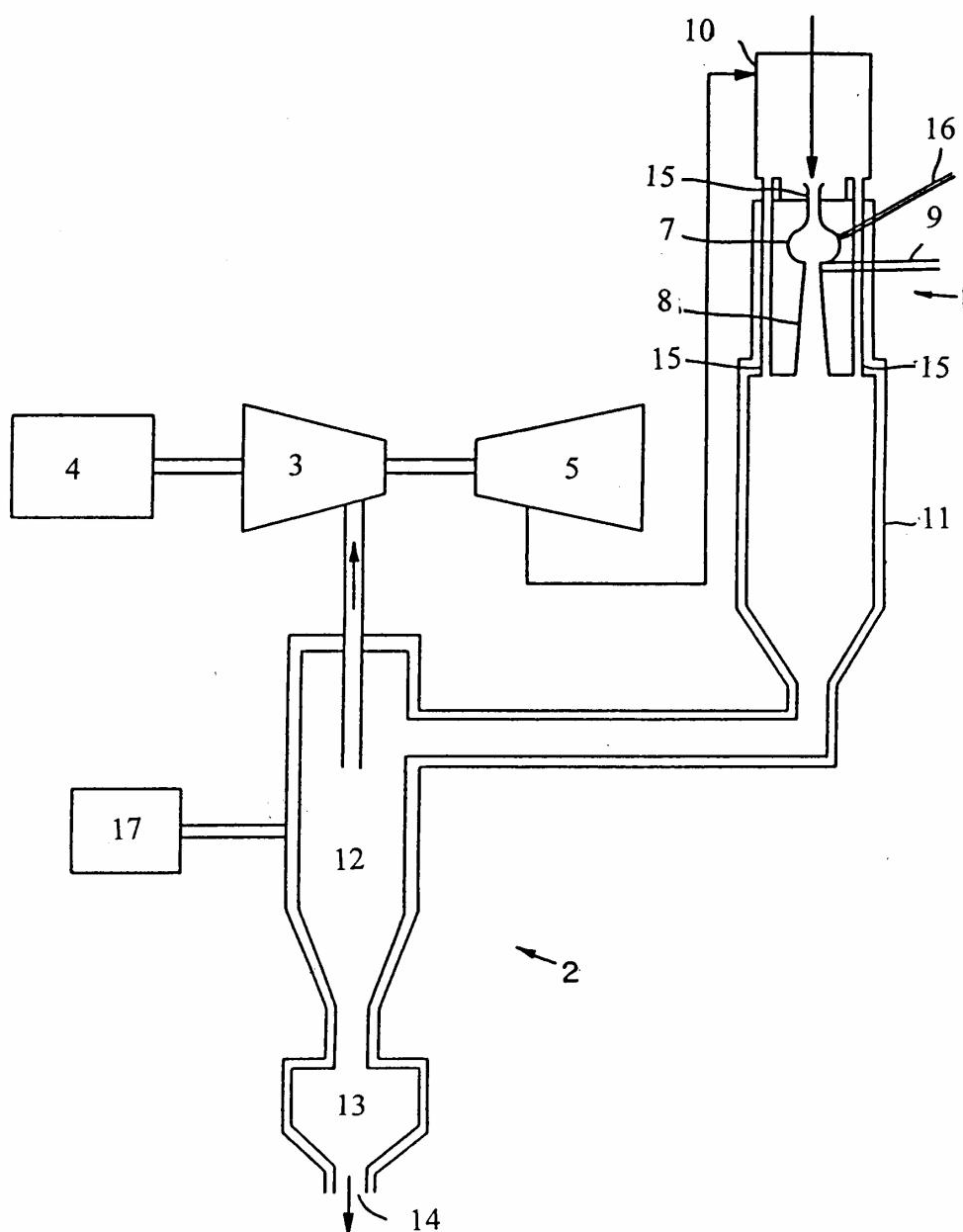
Буквенно-цифровые обозначения импульсной камеры сгорания, показанные на фиг.5, соответствуют следующим размерам, которые относятся к варианту камеры сгорания с ошлаковыванием (описанному выше), которая имеет тепловую мощность 7,5 млн ВТЕ/час (2,2 тыс. кВт/час) и может быть использована для определения других конструкций импульсной камеры сгорания. Входное отверстие 41 имеет диаметр 5,69 дюйма (144,5 мм), а выходное отверстие 42 - диаметр 5,06 дюйма (105,4 мм). Длина различных секций камеры сгорания имеет следующие значения: L1 - 16,17 дюйма (410,7 мм); L2 - 4,15 дюйма (105,4 мм); L3 - 4,31 дюйма (109,5 мм); L4 - 3,40 дюйма (86,4 мм) при общей длине камеры сгорания от входного отверстия 41 до выходного отверстия 42, равном 28,03 дюйма (712 мм). Угол равен 40°, отрезок R1 равен 25,15 дюйма (639 мм), отрезок R2 равен 6,46 дюйма (164 мм), отрезок R3 равен 4,31 дюйма (109,5 мм), отрезок R4 равен 3,40 дюйма (86,4 мм).

Обнаружено, что для применения заявленного импульсного устройства для сжигания топлива некоторые диапазоны значений являются предпочтительными. Желательно, чтобы уровни давления звука, сопровождающего волну давления, генерируемую в импульсном средстве сжигания, хотя и могут иногда быть ниже, но предпочтительно равнялись, по меньшей мере, 160 дБ при атмосферном давлении; 180 дБ при давлении 10 атм и 200 дБ при давлении 20 атм. Как было описано выше, предпочтительный диапазон частот для пульсаций акустической волны, генерируемой в импульсном средстве сжигания, должен составлять от приблизительно 20 до 1500 Гц, наиболее желательно от приблизительно 50 до приблизительно 250 Гц. Предпочтительная разница в гранулометрическом составе между частицами, захваченными газовым потоком, которые должны быть удалены, и дополнительными внесенными частицами должна быть такова, чтобы размеры внесенных дополнительных частиц превышали размеры частиц, первоначально захваченных газовым потоком. Желательно, чтобы доля частиц

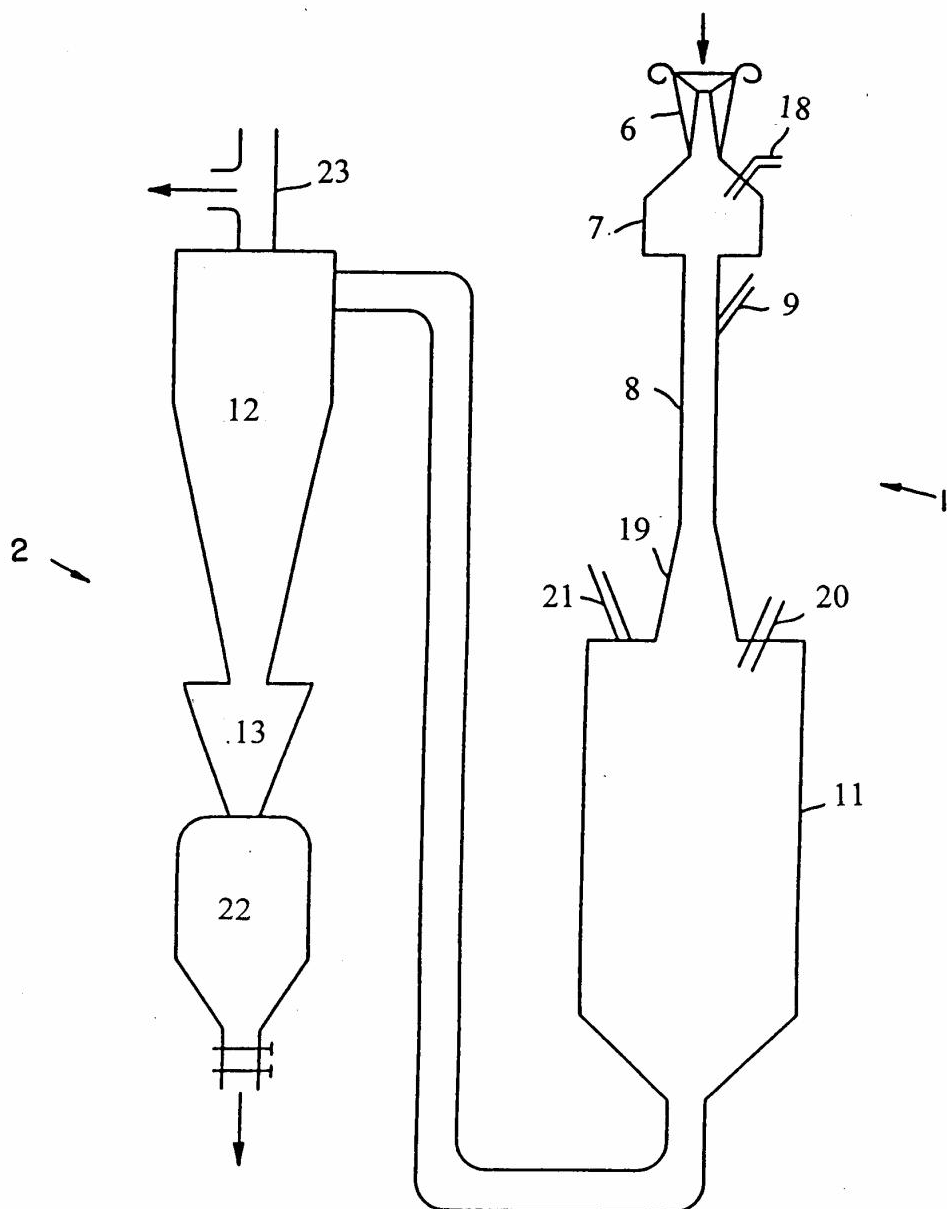
меньшего размера не превышала 50 процентов от суммарного веса твердого материала. Предпочтительно, чтобы удельное содержание твердого материала составляло не менее 10 г/куб.м. Предпочтительная средняя длительность времени нахождения твердой частицы в резонансной трубе 8 составляет от приблизительно 2 до приблизительно 5 секунд. Предпочтительная температура горения газа в системе должна поддерживаться на уровне, более низком, чем температура, при которой предназначенные для спекания частицы начинают плавиться. Такая более низкая температура предупреждает появление расплавленных материалов (шлака) и таким образом гарантирует продолжающийся унос частиц газовым потоком до и после их спекания. Предпочтительно, чтобы температура газа в системе поддерживалась на

уровне, по меньшей мере на 200°F (прибл.110°C) ниже температуры размягчения или начальной деформации твердых частиц. Кроме того, тепловая мощность импульсной камеры сгорания должна предпочтительно составлять от приблизительно 1 до приблизительно 6 млн ВТЕ/час (0,29-1,74 тыс. кВт/час).

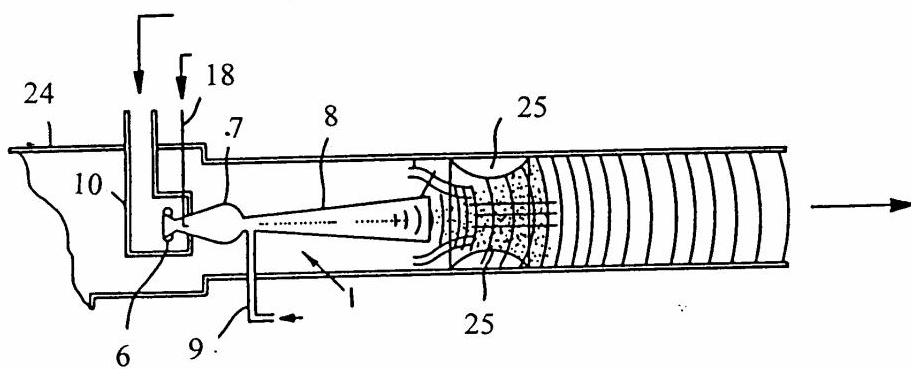
Хотя предпочтительные варианты реализации изобретения описаны с использованием определенных терминов, устройств, показателей концентрации и способов, такое описание предназначено исключительно для целей иллюстрации. Используемые слова являются описательными, но не ограничивающими словами. Следует понимать, что возможно внесение изменений и вариантов без отклонения от существа или объема приведенной далее формулы изобретения.



Фиг. 1

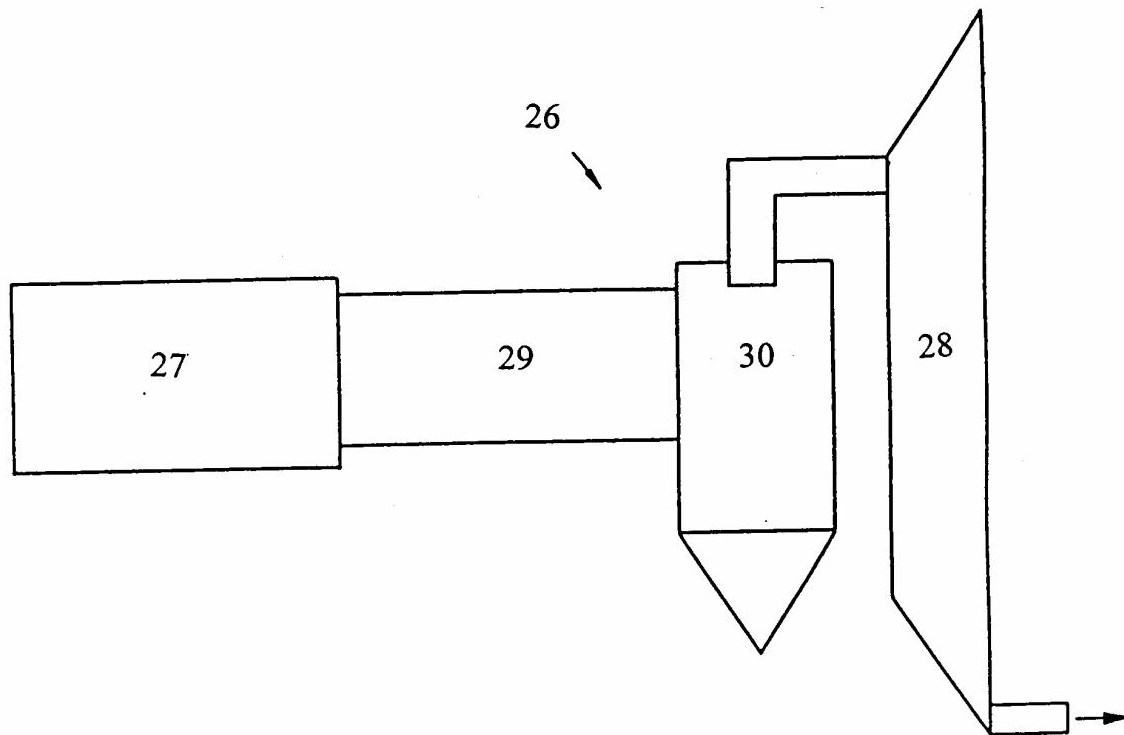


Фиг. 2

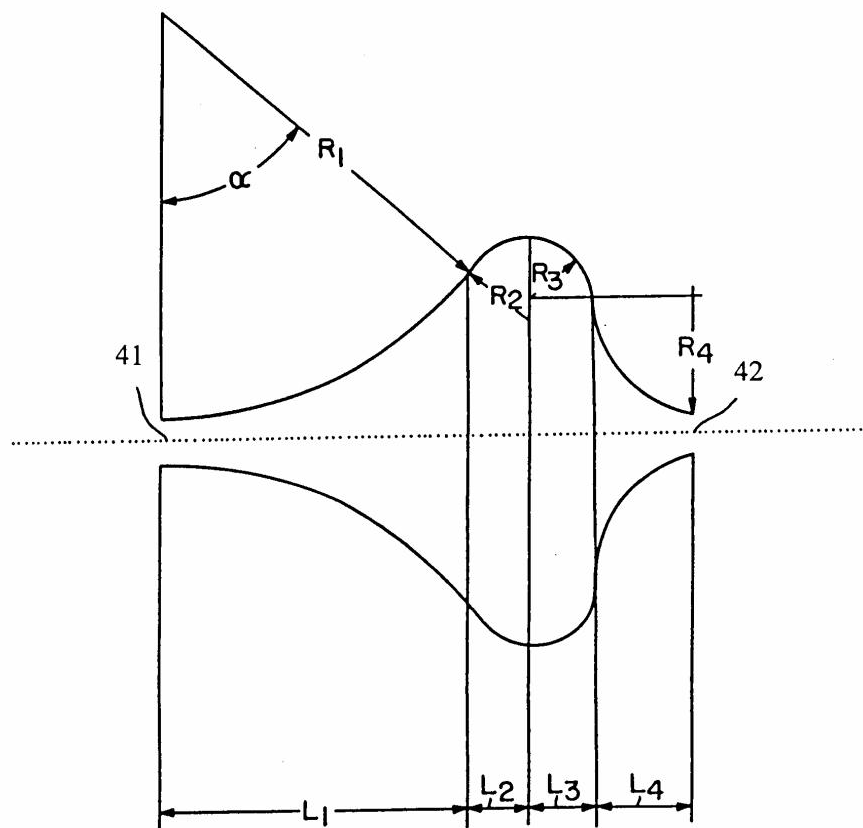


Фиг. 3

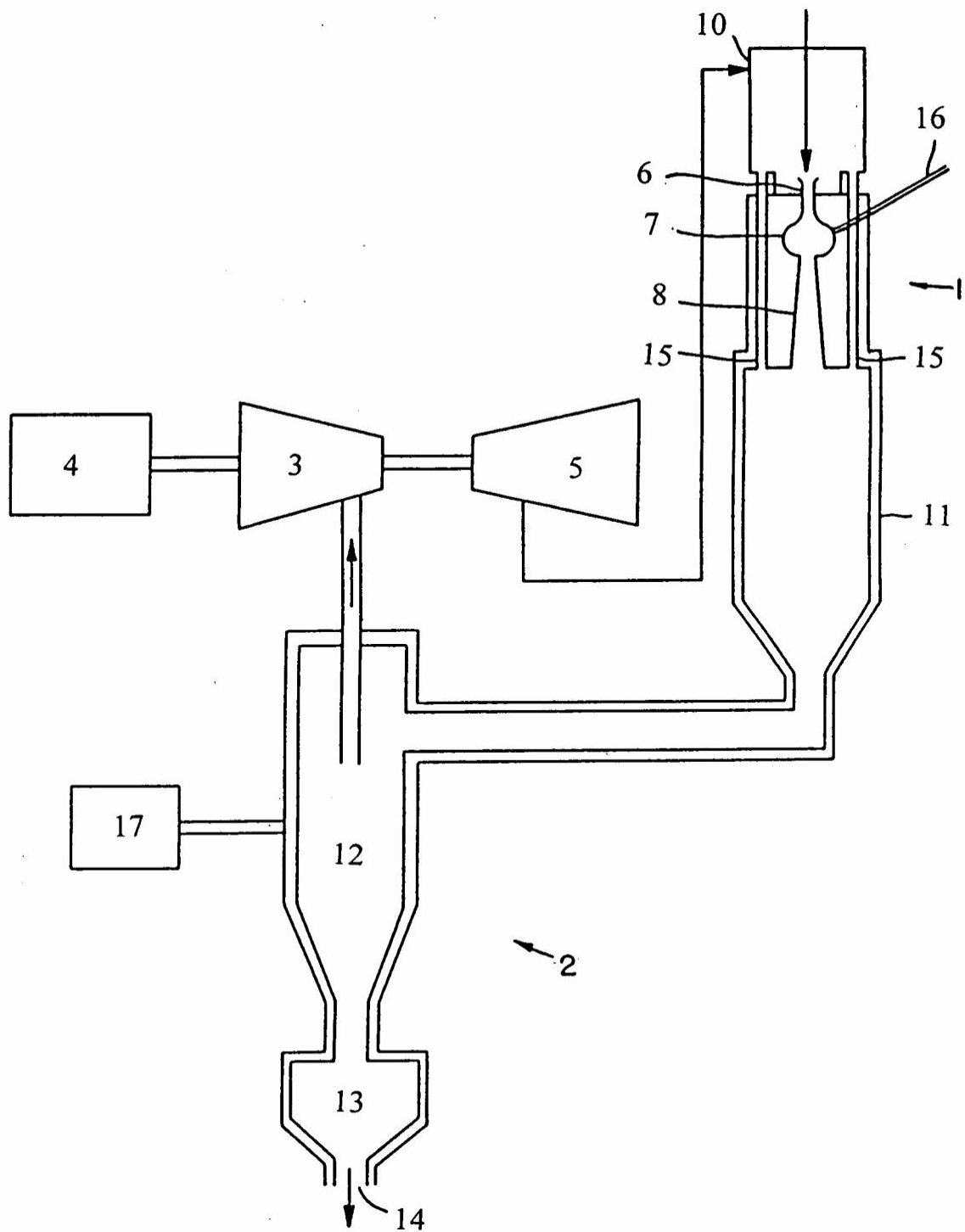




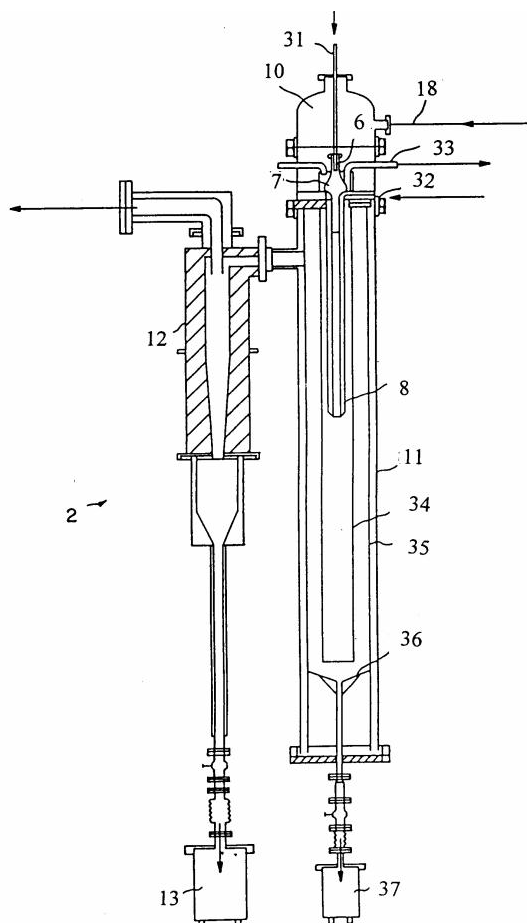
Фиг. 4



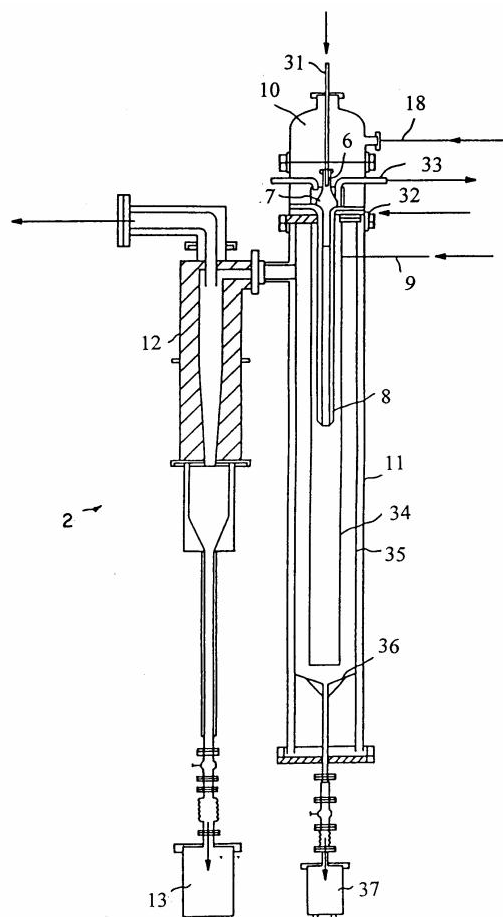
Фиг. 5



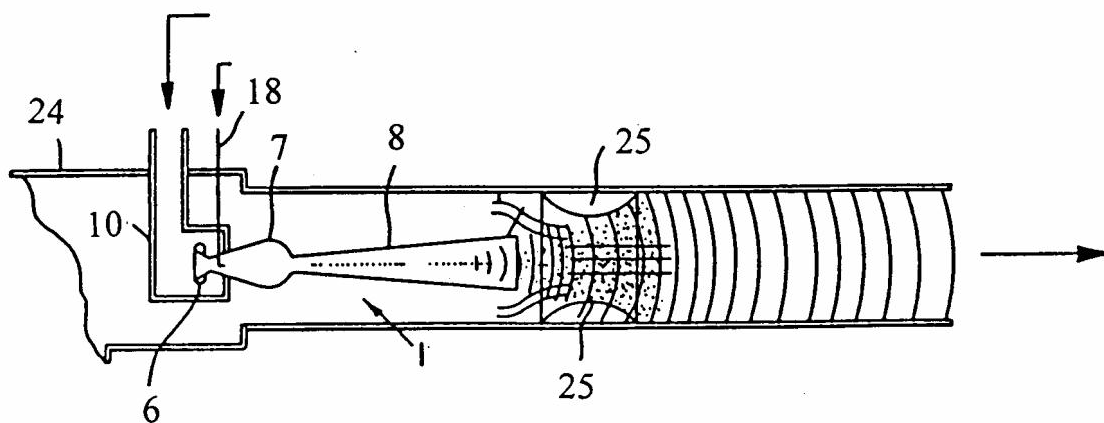
Фиг. 6



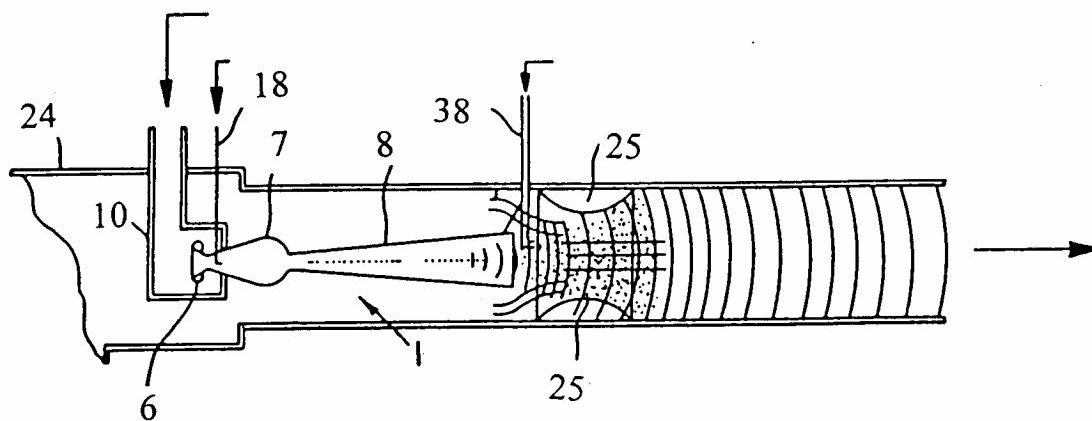
Фиг. 7



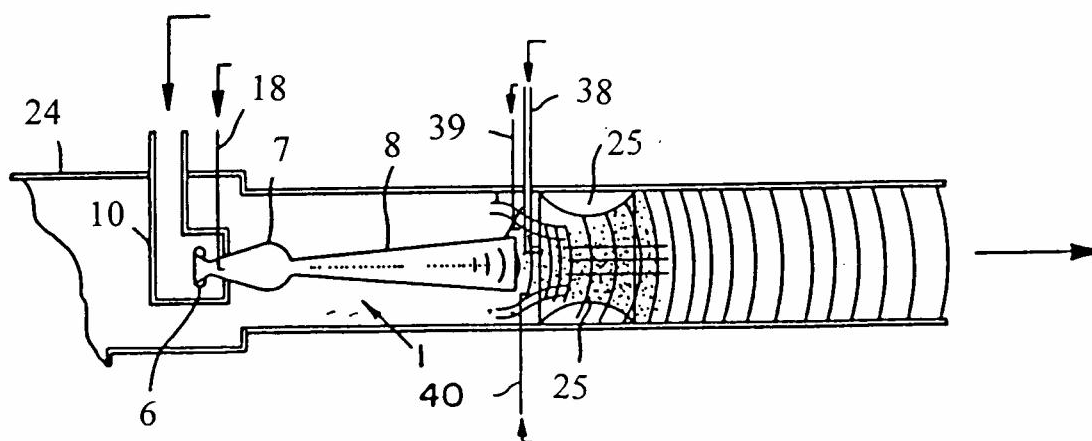
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»  
 Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101  
 (03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03