

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039210**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

- | | |
|--|--|
| (45) Дата публикации и выдачи патента
2021.12.17 | (51) Int. Cl. <i>F02M 25/038</i> (2006.01)
<i>F02B 37/00</i> (2006.01)
<i>F02M 25/03</i> (2006.01)
<i>F02M 25/022</i> (2006.01) |
| (21) Номер заявки
201990863 | |
| (22) Дата подачи заявки
2017.10.06 | |

(54) ПАРОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

- | | |
|---|---------------------|
| (31) 93252; 100022 | (56) JP-A-H08296441 |
| (32) 2016.10.07; 2017.01.17 | EP-A1-3081790 |
| (33) LU | JP-A-2001082259 |
| (43) 2019.09.30 | WO-A2-2014132125 |
| (86) PCT/EP2017/075523 | |
| (87) WO 2018/065594 2018.04.12 | |
| (71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ДИ-ЭМ-ЭЙ ТЕК С.А. Р.Л. (LU) | |
| (72) Изобретатель:
Буви Жак (BE) | |
| (74) Представитель:
Веселицкая И.А., Веселицкий М.Б.,
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,
Соколов Р.А., Кузнецова Т.В. (RU) | |

- (57) Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания возвратно-поступательного типа с искровым зажиганием, включающий в себя кожух двигателя, коленчатый вал (16), вращаемый вокруг оси коленчатого вала, цилиндр (2), расположенный внутри кожуха двигателя, поршень (1), расположенный внутри цилиндра с возможностью возвратно-поступательного перемещения вдоль оси возвратно-поступательного движения между положением верхней мертвой точки, удаленной от коленчатого вала, и положением нижней мертвой точки, приближенной к коленчатому валу, и эксплуатационно связанный с коленчатым валом так, что возвратно-поступательный поршень придает коленчатому валу вращательное движение, камеру сгорания (17), заданную внутри цилиндра между кожухом двигателя и головкой поршня, противоположной коленчатому валу, впускной клапан (3А), выпускной клапан (3В), топливный инжектор (4) для непосредственного впрыска топлива в камеру сгорания, водяной инжектор (6) для непосредственного впрыска воды в камеру сгорания в точке ниже положения верхней мертвой точки поршня, и свечу зажигания (5), причем впускной клапан гидравлически соединен с системой (9) подвода сжатого газообразного окислителя, выполненной для подачи сжатого газообразного окислителя через впускной клапан в камеру сгорания.

B1**039210****039210****B1**

Настоящее изобретение относится к паровым двигателям внутреннего сгорания и, прежде всего, к паровым двигателям внутреннего сгорания с увеличенным КПД, низкой токсичностью выхлопа и большим крутящим моментом при малой частоте вращения, а также к способу для эксплуатации такого.

Предпосылки создания изобретения

Паровые двигатели и двигатели внутреннего сгорания используют для выработки механического вращающего момента на протяжении более 150 лет. Современный паровой двигатель, основанный на использовании возвратно-поступательного поршня, стал возможным благодаря Джеймсу Уатту, совместившему маломощный двигатель возвратно-поступательного действия с конденсатором, что позволило выполнять расширение пара до давления ниже атмосферного, увеличивая тем самым его КПД. Внедрение паровой турбины позволило увеличить КПД (коэффициент объемного) расширения с выходом на давления в несколько дюймов рт. ст. в нашей гравиметрической системе. Так или иначе, паровые двигатели возвратно-поступательного типа использовались в железнодорожной промышленности на протяжении 20 столетия во всех случаях, когда требовались большие крутящие моменты при низкой частоте вращения для транспортировки крупногабаритных грузов на крутых уклонах. Паровые двигатели могут сжигать любой тип топлива в процессе выработки энергии, хотя обычно они используют уголь или природный газ. Они являются ограниченными в том плане, что для них требуется внешний котел для генерации пара, доведенного до перегретого состояния. Температура перегретого пара часто ниже температуры топлива, которое сжигают в котле, поскольку передача тепла на воду требует либо значительной разности температур, либо больших поверхностей теплопередачи. Таким образом, за исключением производства электроэнергии и некоторых систем, в которых требуются как технологический пар, так и механическая энергия в сочетании между собой, паровые двигатели не используют в больших масштабах. Паровые двигатели вырабатывают более высокий крутящий момент, чем традиционные двигатели внутреннего сгорания.

Потребности современного транспорта в энергии покрывают, прежде всего, с помощью двигателей внутреннего сгорания. Хотя разработка литиевых аккумуляторных батарей сделала электромобили подходящим решением для использования в городах или для движения на расстояния менее 200 миль, современные транспортные двигатели включают в себя таковые, основанные на цикле Отто, цикле Дизеля, цикле Брайтона и стандартном воздушном цикле для выработки реактивной движущей силы.

Для наземных систем транспортировки, небольших кораблей и небольших винтовых самолетов используют различные варианты цикла Отто.

В системах генерации электроэнергии, где ветровые и солнечные установки являются непрактичными, возможно использование установок внутреннего сгорания, работающих на циклах Дизеля или Отто.

На фермах и в молочных хозяйствах, где имеется газ метан из органических удобрений или есть доступ к пропану, можно было бы использовать двигатель на основе цикла Отто.

Таким образом, несмотря на природоохранные потребности в уменьшении использования видов углеводородного топлива, двигатели, основанные на цикле Отто, по всей видимости, будут оставаться на первом плане на протяжении, по меньшей мере, следующих 20 лет в общемировых масштабах. Поэтому важно, чтобы мы изыскали конструкции двигателей, которые сводят к минимуму загрязнение атмосферы при доведении КПД до максимума.

Как двигатели Дизеля, так и двигатели Отто обычно обозначают двигателями на стандартных воздушных циклах. Это потому, что основным окислителем для топлива является воздух, забираемый из атмосферы (воздух считается бесплатным, а стоит только топливо). При этом содержащийся в воздухе азот приводит к образованию оксидов азота NO_x , которые, в свою очередь, необходимо обрабатывать.

Большинство двигателей на цикле Отто являются четырехтактными двигателями. Они используют бензин, пропан или природный газ (метан) в качестве топлива, а окислителем является воздух. Во избежание детонационного стука (неконтролируемого сжигания) они работают на обедненной горючей смеси (в этом случае требуется больше воздуха для сжигания топлива). Это приводит к образованию NO_x , а также может приводить к неполному сгоранию (образование CO). Оба являются газами, вызывающими парниковый эффект. Большинство современных автомобилей работает на непосредственном впрыске топлива для предупреждения возможности выброса не сгоревших углеводородов.

Значительное количество малолитражных двигателей является т.н. двухтактными двигателями. Их используют в составе навесных моторов, на скутерах, моделях самолетов, складских транспортных средствах и т.п. Их литраж обычно меньше чем 1000 см^3 . Как правило, в них используют картер в качестве отдельной камеры для забора и сжатия воздуха, который подают в цилиндр. Когда поршень движется в цилиндре вниз, он сжимает воздушно-топливно-масляную смесь в картере. Когда он приближается к концу хода, он открывает клапан впуска в цилиндр, и сжатая воздушно-топливно-масляная смесь поступает в цилиндр (камеру сгорания), при этом выпускной клапан продолжает оставаться открытым. Это приводит к выпуску определенного количества углеводородов в атмосферу. Похоже, что для двухтактных двигателей никакой способ каталитической обработки NO_x на сегодняшний день не предложен. Некоторые изготовители двухтактных двигателей начинают использовать системы непосредственного впрыска топлива. Это приведет к исключению выброса углеводородного сырья в атмосферу, но они до

сих пор не смогли решить проблему с NO_x практически осуществимым способом с достаточно низкими затратами.

На протяжении ряда лет были выполнены работы по использованию H_2 в качестве топлива, и испытания, проведенные Национальным управлением США по авиации и исследованию космического пространства (NASA) и Министерством энергетики США (USDOE) в Калифорнии, показали меньший уровень образования NO_x при непосредственном впрыске в четырехтактный двигатель благодаря изменению количества отверстий в форсунках инжекторов.

Техническая задача.

Ввиду вышеизложенного задача настоящего изобретения заключается в предоставлении усовершенствованного двигателя внутреннего сгорания, который более эффективен и меньше загрязняет окружающую среду, чем известные двигатели, а также способа для эксплуатации такого двигателя.

Описание изобретения

Для решения этой задачи согласно изобретению в его первом аспекте предложен двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания возвратно-поступательного типа с искровым зажиганием, включающий в себя: кожух двигателя, коленчатый вал, вращаемый вокруг оси коленчатого вала, цилиндр, расположенный внутри кожуха двигателя, поршень, расположенный внутри цилиндра с возможностью возвратно-поступательного перемещения вдоль оси возвратно-поступательного движения между положением верхней мертвой точки, удаленной от коленчатого вала, и положением нижней мертвой точки, приближенной к коленчатому валу, и эксплуатационно связанный с коленчатым валом так, что возвратно-поступательный поршень придает коленчатому валу вращательное движение, камеру сгорания, заданную внутри цилиндра между кожухом двигателя и головкой (или днищем) поршня, противоположной коленчатому валу, впускной клапан, выпускной клапан, топливный инжектор, расположенный для непосредственного впрыска топлива в камеру сгорания, водяной инжектор (отдельный от топливного инжектора), расположенный для непосредственного впрыска воды в камеру сгорания в точке ниже положения верхней мертвой точки головки/днища поршня, и свечу зажигания, причем впускной клапан гидравлически соединен с системой подвода сжатого газообразного окислителя, выполненной для подачи сжатого газообразного окислителя через впускной клапан в камеру сгорания.

Согласно изобретению в его другом аспекте также предложен способ для эксплуатации раскрытого в нем двухтактного двигателя внутреннего сгорания возвратно-поступательного типа с искровым зажиганием.

Двигатель согласно изобретению является, прежде всего, двухтактным паровым двигателем, что означает, что энергию вырабатывают посредством зажигания смеси топлива и окислителя в одном и том же цилиндре во время каждого цикла поворота коленчатого вала. Это оказывается возможным благодаря переносу процесса сжатия окислителя (воздуха или кислорода) во вспомогательное устройство сжатия (которое не является частью двигателя), что означает, что окислитель подают в цилиндр в уже сжатом состоянии вместо сжатия его внутри цилиндра или ниже цилиндра, как в традиционных двухтактных двигателях. Таким образом, сжатие перед зажиганием топлива не осуществляют ни внутри, ни с помощью цилиндра, а наоборот, окислитель подают в достаточно сжатом состоянии. Основное преимущество двигателя, являющегося двухтактным двигателем, заключается, как известно, в том, что по сравнению с четырехтактным циклом на эквивалентном силовом приводе двигатель может быть намного меньше или, альтернативно, при одинаковом размере двигатель может теоретически вырабатывать энергию в двойном размере.

Во-вторых, двигатель согласно изобретению, хотя и является двигателем внутреннего сгорания, является, что более важно, также и паровым двигателем, отсюда и название - паровой двигатель внутреннего сгорания или ПДВС. Фактически, в двигателе согласно изобретению тепло, полученное в результате сгорания топлива, непосредственно используют после того, как оно завершит испарение воды, своевременно впрыснутой специально продуманными водяными инжекторами после завершения сгорания по существу, создавая тем самым более высокое давление газа и, следовательно, вырабатывая больше энергии для вращения коленчатого вала. С уменьшением температуры перегретого пара возрастает давление внутри цилиндра. Впрыск соответствующих количеств воды показал, что это обеспечивает примерно на 5% больше энергии, чем сгорание одного лишь топлива. При этом имеется еще одно важное преимущество впрыска воды непосредственно после осуществления сгорания: вода, испаренная за счет тепла внутри цилиндра, уменьшает температуру внутри камеры сгорания, тем самым значительно уменьшая тепловую нагрузку на блок цилиндров и головку цилиндров, прежде всего, по сравнению с традиционными двухтактными двигателями, в которых зажигание происходит во время каждого цикла. Более того, вследствие непосредственного охлаждения, вызванного испарением впрыснутой воды, может быть упрощено общее охлаждение двигателя, что, в свою очередь, уменьшает вес двигателя. Кроме того, впрыск воды, а не пара является более простым процессом, использует более надежные (и более дешевые) компоненты и требует меньше рабочих затрат.

Третье важное преимущество изобретения, если окислителем является воздух (а значит, главным образом, азот), заключается в том, что впрыск воды непосредственно после сгорания топлива приводит к быстрому уменьшению температуры внутри камеры сгорания, что значительно уменьшает опасность

образования опасных для окружающей среды оксидов азота NO_x . Это, в свою очередь, уменьшает необходимость в сложных системах и присадках для восстановления NO_x обратно в N_2 (чтобы соблюсти соответствующие национальные и международные нормативные требования).

Четвертое преимущество изобретения заключается в том, что в отличие от традиционного двигателя внутреннего сгорания (ДВС), в котором пиковый крутящий момент возникает непосредственно после того, как сгорание завершено, под небольшим углом после зажигания, максимальный крутящий момент в паровом двигателе возникает после того, как вся впрыснутая вода превратилась в перегретый пар и, таким образом, тогда, когда плечо рычага значительно больше.

Выражения "верхняя мертвая точка" и "нижняя мертвая точка" являются общеизвестными выражениями в области двигателей возвратно-поступательного типа и относятся к обоим конечным положениям поршня или, более конкретно, днища поршня внутри цилиндра вдоль оси возвратно-поступательного движения. Верхняя мертвая точка является положением поршня, когда он удален от коленчатого вала, в то время как нижняя мертвая точка является положением, ближним к коленчатому валу. Положения вдоль оси возвратно-поступательного движения указывают, как правило, в градусах ($^\circ$) от каждой мертвой точки по отношению к коленчатому валу и в направлении его вращения. Зачастую вышеупомянутым выражениям предшествует предлог "после" или "до". Например: " 5° до верхней мертвой точки" (сокращенно 5° до в.м.т.) означает, что днище поршня находится в положении вдоль оси возвратно-поступательного движения, которое соответствует углу поворота коленчатого вала под углом в -5° относительно верхней мертвой точки. Запись диапазона " $-5^\circ \div +5^\circ$ от верхней мертвой точки" равнозначна "от 5° до верхней мертвой точки до 5° после верхней мертвой точки" или " 5° до в.м.т. $\div 5^\circ$ после в.м.т."

Другие предпочтительные отличительные особенности и преимущества изобретения будут описаны ниже в узвке с ПДВС и способом для его эксплуатации.

Как уже излагалось выше, подводимый сжатый газообразный окислитель является, как правило, сжатым кислородом или сжатым воздухом. Обычно двигатель использует сжатый воздух по связи с объемными соотношениями воздуха в нижней точке хода и верхней точке хода, сжатого при постоянной энтропии с коэффициентами сжатия, предпочтительно по меньшей мере 8:1, более предпочтительно по меньшей мере 10:1, наиболее предпочтительно по меньшей мере 12:1.

Впускной клапан(-ы) и выпускной клапан(-ы) могут представлять собой любой соответствующий тип клапана, предпочтительно это автономные тарельчатые клапаны, используемые почти во всех четырехтактных двигателях, золотниковые клапаны или поворотные дисковые клапаны, либо приводимые собственно от двигателя (двигатель, следовательно, является исполнительным механизмом), например с помощью кулачкового вала, либо приводимые от отдельных исполнительных механизмов, таких как пневматические, гидравлические или электрические исполнительные механизмы. Например, клапанная система, рассчитанная как золотник или быстро вращающийся диск, может в предпочтительном решении обеспечивать заданную синхронизацию открытия и закрытия выпускного клапана в нижней мертвой точке и открытие впускного клапана до закрытия выпускного клапана.

ПДВС согласно изобретению может включать в себя, кроме того, исполнительный механизм, выполненный для открытия впускного клапана для подачи сжатого окислителя, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения от 90° до 20° , предпочтительно от 35° до 25° , более предпочтительно примерно 30° до верхней мертвой точки, и выполненный для закрытия впускного клапана в положении от 10° до 2° , предпочтительно примерно 5° до верхней мертвой точки. Предпочтительно ПДВС также включает в себя исполнительный механизм, выполненный для открытия выпускного клапана для удаления отработанного газа, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения от -21° до $+15^\circ$, предпочтительно от -10° до $+5^\circ$, более предпочтительно 0° от верхней мертвой точки, и выполненный для закрытия выпускного клапана в положении от 25° до 5° , предпочтительно от 20° до 10° , более предпочтительно примерно 15° до верхней мертвой точки.

Топливо, которое может использоваться для подачи в двигатель согласно изобретению, может представлять собой любое традиционное топливо, которое является жидким или газообразным в нормальных условиях, например водород, углеводороды или связанные кислородсодержащие молекулы. В особо предпочтительных вариантах конструктивного выполнения двигатель согласно изобретению эксплуатируют на топливе, которое является газообразным в нормальных условиях. Прежде всего, предпочтительные виды топлива выбирают из водорода, метана, этана, пропана, бутана или природного газа.

В особо предпочтительных вариантах осуществления изобретения топливный инжектор(-ы) выполнен(-ы) для впрыска топлива в положении от -5° до $+5^\circ$, предпочтительно 0° от верхней мертвой точки, а свеча зажигания выполнена для зажигания непосредственно после закрытия топливного инжектора.

Специально продуманный водяной инжектор(-ы) в предпочтительном решении выполнен(-ы) для впрыска воды в камеру сгорания в положении от 5° до 40° , предпочтительно от $7,5^\circ$ до 30° после верхней мертвой точки.

В наиболее предпочтительных вариантах конструктивного выполнения с воздухом в качестве окислителя и H_2 в качестве топлива масса воды, впрыснутой в камеру сгорания, составляет от 0,8 до 1,5, предпочтительно от 0,9 до 1,2 массы горючих газов внутри камеры сгорания (то есть после шага (в), как

указано выше). Эти значения были рассчитаны в увязке с воздухом в качестве окислителя. При O_2 в качестве окислителя предпочтительными являются более значительные объемы воды, прежде всего, до 4- или 5-кратной массы продуктов сгорания (или даже больше). ПДВС согласно изобретению включает в себя, как правило, также водяной бак в качестве источника воды для запитки водяного инжектора, а также конденсаторный агрегат ниже по потоку от выпускного клапана. Этот конденсаторный агрегат, например теплообменник, может быть предусмотрен для конденсации пара из отработанного газа в воду, которая затем может подаваться через трубопроводы в водяной бак. Подобный возврат на повторный цикл воды, использованной для получения пара, представляет собой особый интерес в случае с мобильным применением ПДВС, когда количества перевозимой воды обычно должны быть ограничены. Кроме того, возврат воды на повторный цикл также уменьшает количество операций дозаправки воды. Также могут быть предусмотрены фильтровальные устройства для фильтрации выпускного пара. Предпочтительно водяной бак рассчитан как на заправку водой с помощью обычной заливной крышки, так и на заправку конденсированной выпускаемой водой.

Предпочтительно ПДВС согласно изобретению включает в себя также блок управления, выполненный для управления одной или несколькими функциями двигателя или способом эксплуатации, например открытием и закрытием впускного клапана, открытием и закрытием выпускного клапана, синхронизацией и количеством впрыска топлива, синхронизацией и количеством впрыска воды, давлением окислителя, синхронизацией зажигания, внешним компрессором и т.п. В общем, блок управления будет обеспечивать способы для надлежащего управления функционированием и эксплуатационными характеристиками двигателя, заложенными в продуманное программное обеспечение, предназначенное для одновременного управления синхронизацией клапанов, закачкой воздушной массы и впрыском под давлением, количеством и синхронизацией впрыска топлива, зажиганием, количеством и синхронизацией впрыска воды, спецификациями впрыска воды в начале и конце рабочего цикла двигателя и т.д.

ПДВС согласно изобретению, конечно же, может включать в себя несколько цилиндров точно таким же образом, как и традиционные ДВС. Кроме того, каждый из этих цилиндров может включать в себя несколько водяных инжекторов, предпочтительно распределенных вдоль периметра камеры сгорания. Водяные инжекторы могут располагаться в любом месте цилиндра, который расположен внутри камеры сгорания. С движением поршня вниз вследствие воспламенения смеси топлива с окислителем вода может впрыскиваться, как правило, тогда, когда головка поршня расположена в положении примерно от 5° до 35° после верхней мертвой точки. Поскольку водяные инжекторы имеют доступ в камеру сгорания, они предпочтительно расположены в зоне между верхней мертвой точкой и положением днища поршня, когда коленчатый вал расположен под углом поворота от 0° до 35° , предпочтительно от 5° до 25° относительно положения верхней мертвой точки.

Альтернативно или дополнительно ПДВС согласно изобретению может включать в себя несколько водяных инжекторов, расположенных в различных местах относительно оси возвратно-поступательного движения, то есть на различных уровнях от верхней мертвой точки либо с расположением друг над другом вдоль оси возвратно-поступательного движения, либо наклонно по отношению к указанной оси. В особо предпочтительных вариантах конструктивного выполнения каждый водяной инжектор из нескольких водяных инжекторов может управляться по отдельности, например в зависимости от частоты вращения двигателя.

Предпочтительно один или более водяных инжекторов расположен(-ы) для впрыска воды в форме мелкодисперсной пелены на высоких давлениях, как правило, с использованием насоса высокого давления, работающего на давлениях 350-400 бар. Предпочтительно водяные инжекторы расположены так, что их распыляющие характеристики и расположение вокруг головки цилиндров будут обеспечивать полное распыление воды, впрыснутой после сгорания топлива, дающее мелкодисперсную пелену, увязанную с наклонной формой распыла топлива, согласующуюся с характеристиками движения пламени после сгорания, например, под углом больше 90° относительно оси возвратно-поступательного движения в направлении верхней мертвой точки, предпочтительно под углом между $92,5^\circ$ и 150° , более предпочтительно между 95° и 130° . В особо предпочтительных вариантах изобретения этот угол может контролироваться и регулироваться посредством блока управления.

При том, что некоторые из компонентов ПДВС согласно изобретению, по существу, аналогичны соответствующим компонентам, известным по традиционным ДВС, некоторые из этих компонентов могут иметь очень специфичные отличительные особенности, прежде всего в некоторых наиболее предпочтительных вариантах конструктивного выполнения.

Например, обращенная к камере сгорания головка поршня предпочтительно имеет изогнутую вовнутрь поверхность, что будет усиливать эффекты формованного перегретого пара, позволяя оптимально использовать характеристики перегретого пара с целью получения максимального давления на поршень при расширении пара.

Кожух ПДВС включает в себя, как правило, головку (блока) цилиндров и блок цилиндров. Предпочтительно головка ПДВС выполнена таким образом, чтобы обеспечивать предварительный нагрев определенного количества воды, последовательно впрыскиваемого непосредственно в цилиндр после сго-

рания смеси топлива и окислителя. Кроме того, в предпочтительном решении головка цилиндров может быть выполнена для перекрытия удаления головки поршня примерно в 25° от верхней мертвой точки. В подобном случае один или несколько водяных инжекторов могут быть удобно расположены между головкой цилиндров и блоком цилиндров.

ПДВС согласно изобретению может включать в себя более чем одну свечу зажигания на цилиндр или приспособления для мультискрового зажигания для увеличения скорости распространения пламени.

Описанный здесь способ для эксплуатации двухтактного парового двигателя внутреннего сгорания (ПДВС) возвратно-поступательного типа с искровым зажиганием, в общем, включает в себя работу ПДВС с подачей топлива, сжатого окислителя, а затем воды после того как сгорание топлива, по существу, будет завершено. Прежде всего, во время каждого цикла поворота коленчатого вала и соответствующего возвратно-поступательного движения поршня такой способ включает в себя шаг:

(а) открытие впускного клапана для подачи сжатого окислителя, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения от 90 до 20° , предпочтительно от 35 до 25° , более предпочтительно примерно 30° до верхней мертвой точки, и закрытие впускного клапана в положении предпочтительно от 10 до 2° , более предпочтительно примерно 5° до верхней мертвой точки.

В предпочтительном решении открытие и закрытие впускного клапана могут регулироваться блоком управления по величине в пределах указанных диапазонов предпочтительно во время каждого цикла.

Также во время каждого цикла поворота коленчатого вала и соответствующего возвратно-поступательного движения поршня способ, в общем, включает в себя следующий шаг:

(б) открытие выпускного клапана для удаления отработанного газа, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения от -21 до $+15^\circ$, предпочтительно от -10 до $+5^\circ$, более предпочтительно 0° от верхней мертвой точки, и закрытие выпускного клапана в положении от 25 до 5° , предпочтительно примерно от 20 до 10° , более предпочтительно 15° до верхней мертвой точки.

В предпочтительном решении открытие и закрытие выпускного клапана могут регулироваться блоком управления по величине в пределах указанных диапазонов предпочтительно во время каждого цикла.

В процессе эксплуатации ПДВС во время каждого цикла поворота коленчатого вала и соответствующего возвратно-поступательного движения поршня способ предпочтительно, включает в себя шаг:

(в) впрыскивание топлива в положении от -5 до $+5^\circ$, предпочтительно 0° от верхней мертвой точки и зажигание свечи зажигания непосредственно после закрытия топливного инжектора.

Впрыск воды в рамках указанного способа во время каждого цикла поворота коленчатого вала и соответствующего возвратно-поступательного движения поршня может выполняться на шаге:

(г) впрыск воды в камеру сгорания в положении от 5 до 40° , предпочтительно от $7,5$ до 30° после верхней мертвой точки.

Впрыск топлива или воды либо того и другого в предпочтительном решении может регулироваться блоком управления в пределах указанных диапазонов, предпочтительно во время каждого цикла.

В заключение можно сказать, что ПДВС является паровым двигателем, поскольку он использует воду в качестве рабочей жидкости, которая выполняет значительную часть работы в процессе движения поршня. Кроме того, он является двухтактным двигателем внутреннего сгорания в том смысле, что окислителем является либо сжатый воздух, либо сжатый кислород, подведенный от внешнего источника. Окислитель подают в цилиндр, когда поршень находится близко к верхней мертвой точке, а когда впускной клапан закрывают, непосредственно впрыскивают топливо, после чего следует искровое зажигание.

Зажигание обеспечивают посредством использования свечей зажигания - одной или нескольких в зависимости от диаметра цилиндра и соответствующей высоковольтной автомобильной катушки зажигания. Как правило, одной свечи достаточно, при этом, если топливо, впрыснутое в цилиндр, сгорает со скоростью распространения пламени, не достаточной для полного сгорания до того, как поршень переместится примерно на 25° от верхней мертвой точки, желательно или необходимо иметь две или более свечей. Это обусловлено тем, чтобы обеспечить, чтобы сгорание было, по существу, завершено, когда добавляют воду. Предпочтительно блок управления должен будет контролировать как зажигание, так и добавление воды. Количество впрыснутого топлива является близким к таковому, как в случае со стехиометрической смесью. В точке, когда сгорание (почти) завершено, жидкую воду предпочтительно впрыскивают в цилиндр через распорную деталь, которая посажена между головкой блока и верхом блока цилиндра.

Если топливом является водород, а окислителем является газообразный кислород, то рабочей средой в двигателе будет только перегретая вода, и налицо полноценный паровой двигатель внутреннего сгорания в том смысле, что выпуск будет содержать только воду.

Если окислителем является воздух, работу будет выполнять смесь из перегретого водяного пара и газообразного азота. Термодинамические анализы показали, что добавление воды в количестве, равном весу воздуха, будет обеспечивать производство работы более чем на 5% больше по сравнению с равно-

значной массой воздуха и без образования NO_x высокой концентрации.

Двигатель может быть рассчитан так, что смесь может расширяться, пока вода не начнет конденсироваться или пока давление не приблизится к атмосферному.

Движение поршня вверх будет принудительно направлять газы и пар вверх через выпускной клапан.

При использовании воздуха в качестве окислителя, прежде чем поршень дойдет до верхней мертвой точки, открывают впускной клапан, и окислитель будет помогать выталкивать остающиеся газы и водяной пар (при использовании кислорода, а не воздуха небольшое количество воды, которое может оставаться, не должно удаляться до остановки двигателя, после чего его необходимо продуть, чтобы исключить возможное образование ржавчины, если он длительное время не эксплуатируется).

Предпочтительно топливо впрыскивают непосредственно и, когда инжектор и впускной клапан закрываются, в двигателе выполняют искровое зажигание, чтобы повторить цикл.

Вышеприведенный процесс описан в отношении одного цилиндра. В случае с 4-цилиндровым двигателем сжигание (топлива) выполняют совместно в 1 и 4 цилиндрах и соответственно совместно во 2 и 3 цилиндрах, чтобы обеспечить уравновешенность двигателя.

Как уже было описано выше, представляется возможным собирать воду из газообразных продуктов сгорания и повторно использовать ее, используя конденсатор с воздушным или водяным охлаждением. Подобная система может быть, например, добавлена, если эта система сепарации осуществима по причине меньшего веса в отличие от (системы) транспортировки воды для автономной работы двигателя, рассчитанного на типовой топливный бак. Наиболее вероятно это возможно при использовании O_2 в качестве окислителя. В случае с воздухом в качестве окислителя не конденсируемый N_2 обуславливает относительно большие размеры конденсатора. Устройство, пригодное для сепарации N_2 и водяного пара, возможно на основе использования молекулярного сита, если таковое может быть выполнено с возможностью функционирования с малой потребляемой мощностью и при достаточно малом объеме.

В случае с воздухом в качестве окислителя использование двигателя на транспортном средстве, в принципе, потребует наличия компрессора, способного сжимать воздух со степенью сжатия, необходимой для работы двигателя (на частоте вращения) до по меньшей мере 3000 об/мин. Воздух должен подаваться со степенью сжатия, равной или превышающей давление нагнетания на уровне или почти на уровне массового расхода воздуха в четырехтактном двигателе с мощностью в л.с. вдвое больше. Как правило, от 350 до 400 кПа при окружающей температуре будут достаточными. Другими словами, четырехцилиндровый двухтактный ПДВС мог бы быть эквивалентным восьмицилиндровому четырехтактному двигателю с рабочим объемом вдвое больше.

Такой компрессор мог бы приводиться в действие с помощью ременной или цепной системы с соответствующими шкивами. Он также мог бы приводиться в действие электрическим двигателем.

Система подачи воздуха, как правило, потребует наличия бака-аккумулятора, который будет подавать сжатый воздух при окружающей температуре по месту внутри отсека двигателя так, что его расход будет равен величине от одно- до двукратного массового расхода в четырехтактном двигателе.

Что касается системы клапанов двигателя, то могут использоваться традиционные тарельчатые клапаны, однако их открытие может сильно ограничиваться. Вместо этого в ПДВС могут использоваться золотниковые клапаны или поворотные дисковые клапаны, которые имеют отверстия для потоков как выпуска, так и впуска. Тарелка клапана может обеспечивать вышеупомянутый нахлест применительно к открытию и закрытию клапана и тем самым упрощать управление.

Это также может более просто обеспечить электронное или компьютерное управление двигателем и исключить необходимость в кулачковом механизме для управления клапанами.

Испытания с различными видами топлива могут потребовать использования различных фаз клапанного распределения, например, путем простой замены тарелки или изменения контрольных параметров в блоке управления. Так или иначе, есть основания полагать, что простая конструкция, рассчитанная на H_2 , будет подходить для любого из упомянутых видов топлива.

Все конкретно приведенные здесь значения должны трактоваться как приблизительные значения, если явно не оговорено иное. Следовательно, каждое из указанных конкретных значений должно трактоваться как включающее в себя диапазон значений от на 10% меньше до на 10% больше указанного значения. Конкретные значения, которым предшествует слово "примерно", "приблизительно" и т.п., должны трактоваться как включающие в себя диапазон значений от на 20% меньше до на 20% больше указанных значений.

Краткое описание чертежей

Ниже приведено описание предпочтительных вариантов конструктивного выполнения согласно изобретению со ссылкой на прилагаемые чертежи, где

фиг. 1 - вид конструктивного выполнения ПДВС согласно изобретению в поперечном разрезе,

фиг. 2 - вид сверху на предпочтительную схему впрыска воды,

фиг. 3 - вид сбоку на предпочтительную схему впрыска воды, показывающую угол, превосходящий 90° ,

фиг. 4 - представление наиболее предпочтительного конструктивного выполнения схемы впрыска

воды внутрь цилиндра в ПДВС согласно фиг. 1,

фиг. 5 - фрагменты А-В, иллюстрирующие конструктивное выполнение ПДВС согласно изобретению, в частности, со вспомогательным воздушным баком/буферным баком.

Описание предпочтительных вариантов конструктивного выполнения

В описании ниже описаны некоторые варианты конструктивного выполнения и модификации ПДВС и способ эксплуатации ПДВС согласно изобретению. Приведенное ниже описание не преследует цель ограничить объем прилагаемых пунктов формулы изобретения, а скорее призвано проиллюстрировать некоторые, на данный момент предпочтительные варианты осуществления изобретения.

Как при этом представлено на фиг. 1-4, собственно паровой двигатель внутреннего сгорания (ПДВС) включает в себя целый ряд компонентов, аналогичных таковым, известным по двигателям внутреннего сгорания. Он имеет кожух двигателя, предпочтительно выполненный из головки цилиндров авторской конструкции, в определенной степени стандартного блока цилиндров и одного или нескольких поршней 1, которые прикреплены к коленчатому валу 16 с целью преобразования возвратно-поступательного движения поршня 1 во вращательное движение коленчатого вала 16.

В то время как стандартный бензиновый двигатель работает по четырехтактному циклу, а именно: 1) такт впуска, который при движении поршня вниз всасывает воздух в двигатель через впускной клапан за счет создания вакуума и 2) такт сжатия после закрытия клапана в нижней точке хода, который адиабатически сжимает воздух во время движения поршня вверх, паровой двигатель внутреннего сгорания использует впуск сжатого во внешнем контуре окислителя (воздуха или кислорода) через один или несколько впускных клапанов 3А, открывающихся перед верхней мертвой точкой (перед в.м.т.) и закрывающихся, самое позднее, в верхней мертвой точке (в.м.т.). Выражения "сжатый окислитель", "сжатый воздух" или "сжатый кислород" в контексте настоящего изобретения означают, что окислитель, воздух или кислород сжат на абсолютном давлении впускного коллектора по меньшей мере от 4 до 7 бар или более предпочтительно по меньшей мере 5 бар, более предпочтительно по меньшей мере 6 бар. Более высокие давления обеспечивают подачу большего количества окислителя. Подача воздуха, сжатого отдельно от двигателя, приводит к сравнительно более низкой температуре впуска чем, если бы сжатие воздуха получали за счет компрессии, осуществляемой внутри двигателя путем изоэнтропического сжатия. Это будет приводить к увеличению массы всасываемого воздуха на единицу объема, при этом более низкая температура всасываемого воздуха будет уменьшать возможность самовоспламенения топлива. Это, в свою очередь, позволит использовать более высокие коэффициенты сжатия. Они будут непосредственно влиять на температуру сгорания и на количество испаренной воды и, в общем, на КПД и мощность двигателя. Система 9 подачи сжатого окислителя является уникальной, поскольку температура газа в ней эксплуатационно зависит не от собственной рабочей температуры двигателя, а, наоборот, от собственной системы подачи сжатого окислителя, включающей в себя, например, компрессор и систему охлаждения как таковую. Компрессор, в дополнительных деталях описанный далее по тексту, предпочтительно соединен электронными средствами с двигателем через датчики, которые будут предоставлять информацию, например, о температуре сгорания, а также об испаренной воде. Предпочтительно эти параметры должны рассчитываться специально разработанной программой, обрабатываемой в блоке управления (блок управления ПДВС, не показан), который, в свою очередь, будет подавать на компрессор команды не только на приготовление необходимой воздушной массы, но и на создание потребного давления воздуха. Давление окислителя (воздуха или O_2), заданное по абсолютному давлению впускного коллектора, предпочтительно должно вписываться в диапазон от 4 до 7 бар. Как уже было указано, предпочтительный способ управления компрессором и (его) компоненты будут описаны далее в отдельном описании.

Предпочтительно конструкция клапанов 3А и 3В позволяет полностью выдувать отработанный газ из цилиндра поступающим воздухом. Отверстия в головке предпочтительно должны быть выполнены как вогнутости каплевидной формы по кольцу клапанной коробки, чтобы направлять поступающий воздух на движение из выпускного отверстия, обтекание вокруг камеры сгорания 17 и выталкивание отработанного газа предпочтительно с использованием аналогичной вогнутости каплевидной формы, направляющей воздух и отработанный газ из выходного отверстия.

При том, что в ПДВС можно использовать тарельчатые клапаны 3А, 3В, этот тип клапанов, в общем, ограничивает минимальное расстояние, которое должно быть предусмотрено под крышкой цилиндра. Для устранения этой возможной проблемы могут использоваться другие типы клапанов. В предпочтительном решении можно использовать тип клапана с поворотным диском или с плоским золотником. Эти типы клапанов позволяют поршню 1 подходить очень близко к крышке цилиндра. Потенциально, они могут срабатывать от блока управления ПДВС посредством использования исполнительных механизмов, например соленоидов. Альтернативно, они также могут срабатывать от кулачкового вала верхнего расположения с рычажным механизмом, рассчитанным на поворачивание диска, который может быть нагружен сопротивлением пружины или - в случае с плоским золотником - приводиться в действие непосредственно кулачком и, опять же, возвратной пружиной для возврата клапана в его исходное закрытое положение. Золотник или диск может быть выполнен для расположения заподлицо с верхней поверхностью цилиндра. Такая конструкция может быть изготовлена с ее более узким поперечным размером на поверхности, обращенной к поршню и с более широким - сверху, сводя к минимуму возмож-

ность протечек по периметру сторон золотника или по окружности диска.

И наоборот, золотник может быть расположен на небольшом расстоянии над крышкой цилиндра. В последнем случае крышка цилиндра может иметь совсем неглубокие вогнутости каплевидной формы для направления потока отработанного газа и поступающего воздуха. Когда отверстия клапанов перекрываются одновременно, поступающий воздух может помогать выдувать все выпускаемые продукты сгорания из камеры. В этой ситуации ПДВС может работать на давлении, когда газы у нижней мертвой точки (в которой выпускные клапаны открываются) находятся под давлением, приходящимся либо на давление внешней среды, либо на точку, в которой водяной пар вышел на начало конденсации.

Как в двигателе внутреннего сгорания, так и в ПДВС топливо может впрыскиваться через жиклеры 4, расположенные в головке у верхней мертвой точки, в которой окислитель (воздух или O_2) и топливо зажигают с помощью одной или нескольких свеч 5 зажигания. (В более ранних двигателях внутреннего сгорания карбюратор распылял бы жидкое топливо в воздух низкого давления, когда он поступал в двигатель, оставляя мотор подверженным стукам в двигателе перед зажиганием. По этой причине современные двигатели внутреннего сгорания работают на обедненной горючей смеси.) Предпочтительно ПДВС использует только газообразные виды топлива, такие как водород, метан или пропан, которые предпочтительно впрыскивают из одного или нескольких, например четырех или более, жиклеров, и не будет подвержен стукам, даже если двигатель будет работать стехиометрически.

Подведенная к воде для получения пара при повышенном давлении теплота есть энтальпия (теплосодержание) при этом давлении минус энтальпия жидкой воды в насыщенном состоянии при 400кПа. Произведенная в результате расширения работа есть энтальпия при высоком давлении минус энтальпия при выпуске (выхлопе). КПД процесса расширения пара есть работа, поделенная на подведенное тепло. Подводимое тепло получают из газообразных продуктов сгорания топлива/воздуха или кислорода, который смешивают с водой для преобразования в пар для привода поршня двигателя.

В наиболее предпочтительном конструктивном выполнении форма камеры сгорания, заданная головкой (цилиндра) и днищем поршня с предпочтительно слегка вогнутой поверхностью в верхней мертвой точке, будет иметь форму эллипса с вращением вокруг его малой оси (8). Это приведет к более тщательному смешиванию высокоскоростной струи газообразного топлива с движением газов вверх, а также радиально наружу, обеспечивая улучшение смешивания с окислителем. Передняя граница пламени будет быстро перемещаться через камеру сгорания со скоростью более 8 м/с и не будет оставаться никакого неотработанного топлива, которое может создавать проблему, когда форма днища поршня может приводить к образованию мертвых зон циркуляции. Кроме того, предполагается, что конические струи мелкодисперсной воды будут способствовать этому, когда будут испаряться.

В конце сгорания и после небольшого перемещения поршня вниз, как правило, в зависимости от частоты вращения двигателя жидкая вода на высоком давлении будет впрыскиваться (6) в камеру сгорания 17 цилиндра 2 и будет испаряться, понижая температуру газообразных продуктов сгорания и одновременно повышая давление внутри камеры сгорания 17, обеспечивая тем самым дополнительную энергию, толкающую поршень 1 вниз.

Количество поступающей в цилиндр воды предпочтительно должно будет равняться или превышать массу газообразных продуктов сгорания, причем вода должна превращаться в перегретый пар. Смесь газообразных продуктов сгорания/пара будет адиабатически расширяться до низкого давления в нижней мертвой точке, а затем выталкиваться через один или несколько выпускных клапанов идущим вверх поршнем. За несколько градусов до верхней мертвой точки должно будет начинаться поступление свежего окислителя (воздуха или O_2) в двигатель, выталкивая все остаточные газообразные продукты сгорания.

В случае с ПДВС, работающим с частотой вращения 3000 об/мин на топливе H_2 , точка впрыска воды будет приходиться, в общем, приблизительно на 5-40° поворота коленчатого вала, если передняя граница пламени перемещается только со скоростью 8 м/с. В случае с ПДВС, работающим с частотой вращения 1000 об/мин, впрыск воды может даже начинаться в положении от 5 до 10° после верхней мертвой точки. Если топливом является водород, а окислителем является чистый кислород, то газообразные продукты сгорания оказываются все паром. Если окислителем является воздух, то отработанным газом будут пар и водород. Если топливом являются газообразные или жидкие углеводороды, то в результате будут получаться CO_2 , а также N_2 и пар. В отработанном газе должно быть небольшое количество NO_x или его отсутствие, поскольку по данным USDOE (Министерство энергетики США) даже небольшое количество воды, добавленное в работающий на H_2 четырехтактный ДВС, резко уменьшает образование NO_x . Таким образом, ПДВС с его большим объемом добавки воды не должен производить никакого или почти никакого количества NO_x .

Термодинамические расчеты показали, что ПДВС будет набирать большую мощность, чем стандартный двигатель внутреннего сгорания при одинаковом отношении топлива к воздуху. Поскольку двухтактный двигатель обеспечивает один рабочий ход поршня на один оборот двигателя, а четырехтактный двигатель - только один рабочий ход на два оборота, то ПДВС вдвое меньшего типоразмера, чем стандартный четырехтактный ДВС будет набирать несколько большую мощность и меньше загряз-

нять окружающую среду. Таким образом, паровой двигатель внутреннего сгорания является более безопасным для окружающей среды.

Кроме того, если головка рассчитана на перекрытие приблизительно первых 20-25° вращения двигателя, блок двигателя потенциально может изготавливаться из менее дорогих материалов.

Отдаваемая новым ПДВС мощность значительно больше мощности традиционных двигателей внутреннего сгорания. Это объясняется образованием перегретого пара, происходящим сразу же после процесса сгорания, а также присоединенной массой и повышением давления во время процесса расширения.

Расчеты показали, что газообразные продукты сгорания остывают, а вода увеличивает свою температуру по ходу почти изохорного процесса (перед этим имеет место большое увеличение объема вследствие движения поршня вниз). Хотя изменение объема и небольшое во время нагрева воды и испарения, однако определенное небольшое расширение будет иметь место. Величина изменения объема во время этого процесса зависит, например, от мелкодисперсности (водяной) пыли и оборотов двигателя.

Как следствие, в еще одном предпочтительном конструктивном выполнении применена инновационная форма водяного инжектора 6, характеристики которого даже лучше отвечают требованиям мелкодисперсного испарения. Описание предпочтительных инжекторов будет приведено далее по тексту.

В конце расширения газообразные продукты сгорания будут содержать воду в форме мелкодисперсного пара, а также азот, если окислителем является воздух вместо чистого кислорода (O_2).

В результате это даст почти чистый двигатель в плане выбросов.

В традиционных ДВС, если температура сгорания достаточно высокая в ДВС при использовании воздуха для горения, что является обычным случаем, часть образовавшейся воды разрушается, и при наличии азота возможно образование NO_x .

Образование NO_x является эндотермической реакцией, которая охлаждает газ в определенной степени, и в определенный момент времени газы переходят в равновесное состояние, которое может включать O_2 , O , NO , NO_2 , H_2O , H , OH и т.д.

Само собой разумеется, газообразные продукты сгорания должны достичь достаточно высоких температур, чтобы это произошло, а наличие избыточного O_2 и избыточного воздуха в умеренных количествах делает более вероятным образование NO_x .

NO_x есть смесь NO и NO_2 . Используя функцию Гиббса и температуру, можно рассчитать равновесную концентрацию продуктов сгорания. Это итеративное вычисление, а результат таков, что сжигание H_2 в среде воздуха будет приводить к образованию определенного количества NO_x , если поддерживают условие изоляции так, что газы достигают равновесного состояния.

При добавлении воды в газообразные продукты сгорания они охлаждаются, нагревая при этом воду до паровой фазы. Этот процесс поддерживает давление на высоком уровне, одновременно понижая температуру. Следовательно, для образования NO_x теоретически нет времени, поскольку температура падает до точки, в которой равновесная составляющая уже не присутствует. В любом случае образуется не так уж много. Таким образом, нежелательное образование NO_x является определенно меньшим, чем в традиционном ДВС.

В процессе термодинамических расчетов оказалось возможным получить максимальное количество энергии путем использования стехиометрической смеси воздуха и H_2 так, чтобы избыточный воздух отсутствовал.

В момент полного сгорания образовывалась высокотемпературная смесь H_2O и N_2 , которая при добавлении распыленной воды резко остывала так, что образовывалось малое количество NO .

В еще одном конструктивном выполнении ПДВС согласно изобретению двигатель укомплектован специальной головкой, обеспечивающей предварительный нагрев впрыскиваемой воды в двигателе 13, причем впрыскиваемая вода протекает через каналы, аналогичные таковым, уже существующим в обычных двигателях для головки двигателя и охлаждения цилиндров. При обеспечении соответствующего ритма циркуляции воды в каналах ПДВС воду нагревают, и она может достигать температур, в общем, близких к ее точке кипения. Это приведет к меньшему расходу потребной энергии, получаемой непосредственно при сгорании, для доведения воды до состояния перегретого пара, причем используют энергию отработанного тепла, что, в свою очередь, уменьшит количество необходимого горючего.

Несмотря на то, что двигатель двухтактный, ПДВС отличается по меньшей мере одним впускным клапаном 3А и одним выпускным клапаном 3В вместо использования простых отверстий (что приводит к ухудшению контроля эксплуатационных характеристик, обычному для большинства двухтактных двигателей), но за счет некоторого увеличения веса из-за клапанов и приданной системы привода.

Важной отличительной особенностью ПДВС является система впрыска воды. Как было указано выше, форма камеры сгорания, заданная головкой (цилиндра) и днищем поршня в верхней мертвой точке, предпочтительно образует эллипс с вращением вокруг его малой оси. Форма поршня в предпочтительном решении задана из расчета предупреждения возникновения мертвых зон циркуляции. Чтобы извлечь преимущество из этой отличительной особенности, сопла для впрыска воды предпочтительно расположены соответственно вокруг периферии 11 камеры сгорания и, в общем, задают схему мелкодисперсного распыла струи. Поскольку передняя граница пламени будет иметь тенденцию перемещаться

вдоль вертикальной оси сверху вниз, следуя направлению впрыска струи горючего, то водяные инжекторы в предпочтительном решении будут осуществлять распыление под углом больше 90° , рассчитанным от вертикальной линии, проведенной от верхнего торца 12 головки двигателя.

Вода будет впрыскиваться после проворачивания коленчатого вала на определенный угол, например примерно от 5° до 40° , от верхней мертвой точки. Эта синхронизация предпочтительно обеспечивает полное сгорание топлива до того, как будет впрыснута вода. В общем, предполагается, что зажигание будет иметь место в положении от 0° до 5° от верхней мертвой точки. Количество и распределение водяных инжекторов будет зависеть от их способности обеспечивать мелкодисперсную пелену по типу таких, используемых для впрыска топлива в дизельном двигателе. Представленные расчеты были выполнены для случая с ПДВС, работающим на частоте вращения 3000 об/мин. Количество воды было выбрано равным по массе всем продуктам сгорания (равным массе топлива и воздуха). При том, что можно было бы впрыскивать больше воды, расчеты показывают, что это количество будет обеспечивать более значительную наработку мощности, чем простое сжигание топлива в воздухе или чистом кислороде.

Как можно видеть на фиг. 2 и 3, схема распыления водяными инжекторами будет диктовать расположение водяных инжекторов 6 так, чтобы они были расположены, в общем, в различных точках 11 во-круг камеры сгорания 17, например по кругу. Предпочтительно сопла инжекторов должны будут задавать коническую форму распыла струи, как видно в виде сверху на головку двигателя на фиг. 2. Форма распыла струи, при взгляде с передней стороны инжектора, будет, в общем, задавать линейную схему, характеризующую номинальным углом распыла струи инжектором. В предпочтительном решении этот угол должен быть задан так, чтобы максимально широко перекрывать зону распыления, при взгляде от верхнего торца головки цилиндров, и отличается от угла, заданного выше в увязке с необходимостью распыления воды вниз, таким образом, что ее направление будет следовать движению передней границы пламени вниз, как показано на фиг. 3.

Поданный во впускной клапан 3А цилиндра окислитель (воздух или O_2) необходимо будет сжать. В большинстве случаев ПДВС будет эксплуатироваться с использованием воздуха вместо чистого кислорода, то есть ПДВС будет работать на сжатом воздухе в качестве окислителя. При том, что существуют различные способы для достижения этой цели, обеспечиваемой системой 9 подачи сжатого газообразного окислителя, компрессорное устройство предпочтительно должно располагаться на расстоянии (например, длины впускного коллектора 10 сжатого воздуха), позволяющем воздушной массе остыть перед поступлением в цилиндр. Это будет влиять на подачу воздуха с большей плотностью, причем влияние будет выгодно отличаться в сравнении с традиционными двигателями с воспламенением от сжатия или даже с т. н. двигателями Скудери, в которых цилиндр сжатия и рабочий цилиндр расположены, как правило, рядом. Двигатели Скудери имеют спаренные цилиндры, каждый из которых осуществляет две из задач (два из тактов) традиционного двигателя. Цилиндр сжатия осуществляет впуск и сжатие. Рабочий или силовой цилиндр осуществляет сгорание и выпуск. Сжатый воздух подают из цилиндра сжатия в силовой цилиндр через переходной канал. Затем впрыскивают топливо и сжигают его внутри силового цилиндра для выполнения рабочего хода.

Сжатый воздух можно приготавливать, когда его подают или необходимо подать непосредственно в ПДВС. Альтернативно, может быть предусмотрено временное хранение сжатого воздуха. Сжатый воздух можно активно охлаждать до (или после) хранения, если предусмотреть т. н. промежуточный охладитель, обычно включающий в себя теплообменник. Сжатый воздух внутри такого теплообменника может охлаждаться окружающим воздухом или водой, впрыскиваемой в ПДВС.

В предпочтительных вариантах осуществления изобретения предусмотрены способы для адаптации объемной производительности дутьевого нагнетателя окислителя или устройства хранения сжатого окислителя под потребное сжигание горючего на стехиометрическом соотношении. Для достижения этой цели существуют различные способы, включая отслеживание температуры головки цилиндра, анализ и измерение температуры отработанного газа и т.д. Будет понятно, что согласно изобретению можно использовать или компрессоры с электронным приводом, или компрессоры с автономным приводом, частота вращения которых может варьироваться под потребность стехиометрического горения.

После расширения пар низкого давления может фильтроваться и конденсироваться и подготавливаться к возврату в водяной бак 7. Система циркуляции воды в этом примере, в общем, будет включать в себя водяной бак 7, циркуляционный насос 14 низкого давления для предварительного нагрева воды внутри водяных камер 13 и инжекторный насос 15 высокого давления, выходящий на водяные инжекторы 6 внутри ПДВС.

На фиг. 5А показано конструктивное выполнение ПДВС 20 согласно изобретению, а на фиг. 5Б показано конструктивное выполнение воздушного бака/буферного бака 30 для временного хранения сжатого воздуха (окислителя). На фиг. 5В в виде в поперечном разрезе показан воздушный бак 30 согласно фиг. 5Б.

ПДВС 20 включает в себя блок цилиндров с крышкой 22 клапанной коробки в верхней части и масляным поддоном 26 в нижней части, патрубок 24 для подачи впрыскиваемой воды или охладителя в блок цилиндров и поворотный коленчатый вал 25, к которому прикреплен маховик 27. В некоторых вариантах

конструктивного выполнения коленчатый вал 25 может быть эксплуатационно соединен с компрессором (не показан) для подачи сжатого воздуха в буферный бак 30, генератором переменного тока (не показан) и/или вентилятором (не показан).

Впускной коллектор 23 гидравлическим соединением поочередно, через впускные клапаны соединен с камерой сгорания каждого цилиндра и, кроме того, имеет воздухозаборный клапан 21, гидравлическим соединением соединенный с буферным баком 30. В некоторых вариантах конструктивного выполнения буферный бак 30 может быть смонтирован непосредственно на воздухозаборном клапане 21 с помощью фланца 33 и крепежных болтов (не показаны) для гидравлического соединения емкости буферного бака с впускным коллектором 23 через горловину 31. Буферный бак 30 для временного хранения сжатого воздуха, поданного компрессором через воздухозаборный клапан 32, включает в себя также клапан, например дроссельный клапан 35, для регулирования (дросселирования) подачи сжатого воздуха в камеру сгорания цилиндров через впускной коллектор 23.

Буферный бак 30 может быть изготовлен из нержавеющей стали и имеет соответствующую вместимость для вмещения сжатого воздуха, по меньшей мере, для заполнения всех цилиндров двойным количеством воздуха, необходимого на каждый двухтактный цикл. Например, буферный бак 30 может иметь вместимость для вмещения примерно 4 л воздуха, сжатого под давлением до 10 бар или более для 2-литрового двигателя.

Список ссылочных обозначений.

- 1 - поршень,
- 2 - цилиндр,
- 3А - впускной клапан,
- 3В - выпускной клапан,
- 4 - топливный инжектор,
- 5 - свеча зажигания,
- 6 - водяной инжектор,
- 7 - водяной бак,
- 8 - изогнутое днище поршня,
- 9 - система подачи сжатого газообразного окислителя (подача сжатого воздуха, подача сжатого кислорода),
- 10 - впускной коллектор сжатого воздуха,
- 11 - схема впрыска воды при взгляде на двигатель сверху,
- 12 - схема впрыска воды при взгляде на двигатель сбоку,
- 13 - водяная камера,
- 14 - насос низкого давления,
- 15 - насос высокого давления,
- 16 - коленчатый вал,
- 17 - камера сгорания,
- 18 - установка конденсации пара,
- 20 - вариант конструктивного выполнения ПДВС,
- 21 - воздухозаборный клапан,
- 22 - крышка клапанной коробки,
- 23 - впускной коллектор,
- 24 - патрубок для впрыска воды или охладителя,
- 25 - коленчатый вал для компрессора, генератора переменного тока и вентилятора,
- 26 - масляный поддон,
- 27 - маховик,
- 30 - буферный бак,
- 31 - горловина под соединение с коллектором,
- 32 - впуск воздуха из компрессора,
- 33 - фланец с отверстиями под болты для посадки на коллектор,
- 34 - вертикальный разрез буферного бака,
- 35 - дроссельный клапан.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания возвратно-поступательного типа с искровым зажиганием, включающий в себя кожух двигателя, коленчатый вал (16), вращаемый вокруг оси коленчатого вала, цилиндр (2), расположенный внутри кожуха двигателя, поршень (1), расположенный внутри цилиндра с возможностью возвратно-поступательного перемещения вдоль оси возвратно-поступательного движения между положением верхней мертвой точки, удаленной от коленчатого вала, и положением нижней мертвой точки, приближенной к коленчатому валу, и эксплуатационно связанный с коленчатым валом так, что возвратно-поступательный поршень придает коленчатому валу вращательное

движение, камеру сгорания (17), заданную внутри цилиндра между кожухом двигателя и головкой поршня, противоположной коленчатому валу, впускной клапан (3А), выпускной клапан (3В), топливный инжектор (4) для непосредственного впрыска топлива в камеру сгорания, водяной инжектор (6) для непосредственного впрыска воды в камеру сгорания в точке ниже положения верхней мертвой точки поршня, и свечу зажигания (5), причем впускной клапан гидравлически соединен с системой (9) подвода сжатого газообразного окислителя, выполненной для подачи сжатого газообразного окислителя через впускной клапан в камеру сгорания, и двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания возвратно-поступательного типа с искровым зажиганием дополнительно включает в себя исполнительный механизм, выполненный для открытия выпускного клапана для удаления отработанного газа, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения от -21 до $+15^\circ$ от нижней мертвой точки, и выполненный для закрытия выпускного клапана в положении примерно от 25 до 5° до положения верхней мертвой точки, причем топливный инжектор выполнен для впрыска топлива в положении головки поршня от -5 до $+5^\circ$ от верхней мертвой точки, а водяной инжектор расположен в положении ниже верхней мертвой точки и выполнен для впрыска воды в камеру сгорания в положении головки поршня от 5 до 40° после верхней мертвой точки.

2. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по п.1, причем подводимый сжатый газообразный окислитель является сжатым кислородом или сжатым воздухом, предпочтительно сжатым воздухом со степенью сжатия предпочтительно по меньшей мере 3-6 бар.

3. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по п.1 или 2, причем система подвода сжатого газообразного окислителя включает в себя компрессор.

4. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по п.3, дополнительно включающий устройство временного хранения и/или теплообменник.

5. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-4, также включающий в себя исполнительный механизм, выполненный для открытия впускного клапана (3А) для подачи сжатого окислителя, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения от 90 до 20° , предпочтительно примерно от 35 до 25° , более предпочтительно 30° до верхней мертвой точки, и выполненный для закрытия впускного клапана в положении от 10 до 2° , предпочтительно примерно 5° до верхней мертвой точки.

6. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-5, в котором исполнительный механизм выполнен для открытия выпускного клапана (3В) для удаления отработанного газа, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения -10 до $+5^\circ$, более предпочтительно 0° от нижней мертвой точки, и выполненный для закрытия выпускного клапана в положении примерно от 20 до 10° , более предпочтительно примерно 15° до положения верхней мертвой точки.

7. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-6, причем топливный инжектор выполнен для впрыска топлива в положении головки поршня 0° от верхней мертвой точки, а свеча зажигания выполнена для зажигания непосредственно после закрытия топливного инжектора.

8. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-7, причем водяной инжектор выполнен для впрыска воды в камеру сгорания в положении головки поршня от $7,5$ до 30° после верхней мертвой точки.

9. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-8, причем впускной клапан (3А) и/или выпускной клапан (3В) являются тарельчатыми клапанами, золотниковыми клапанами или поворотными дисковыми клапанами.

10. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-9, причем топливо является жидким или газообразным в нормальных условиях, предпочтительно топливо является газообразным в нормальных условиях и выбрано, прежде всего, из водорода, метана, этана, пропана, бутана или природного газа.

11. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-10, также включающий в себя блок управления, выполненный для управления одной или несколькими выбранными функциями, включая открытие и закрытие впускного клапана, открытие и закрытие выпускного клапана, синхронизацию и количество впрыска топлива, синхронизацию и количество впрыска воды и давление окислителя.

12. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-11, также включающий в себя водяной бак (7) в качестве источника воды для запитки водяного инжектора (6), конденсаторный агрегат (18) ниже по потоку от выпускного клапана для конденсации пара из отработанного газа в воду и трубопроводы для подачи конденсированной воды в водяной бак.

13. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-12, причем обращенная к камере сгорания головка поршня имеет изогнутую вовнутрь поверхность.

14. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-13, включающий в себя несколько водяных инжекторов (6), распределенных вдоль периметра камеры сгорания в местоположении ниже положения верхней мертвой точки, причем местоположение ниже положения верхней мерт-

вой точки предпочтительно приходится на местоположение, соответствующее верху головки поршня, когда коленчатый вал расположен под углом поворота от 0 до 35°, предпочтительно от 5 до 25° относительно положения верхней мертвой точки.

15. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-14, включающий в себя несколько водяных инжекторов, расположенных в различных местоположениях относительно оси возвратно-поступательного движения, причем каждый водяной инжектор из нескольких водяных инжекторов может управляться по отдельности.

16. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-15, причем водяной инжектор расположен для впрыска воды под углом в 90° или более относительно оси возвратно-поступательного движения в направлении верхней мертвой точки, предпочтительно под углом между 92,5 и 150°, более предпочтительно между 95 и 130°.

17. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по одному из пп.1-16, причем кожух двигателя включает в себя головку цилиндров и блок цилиндров, и причем головка цилиндров выполнена для перекрытия удаления головки поршня примерно в 25° поворота коленчатого вала от верхней мертвой точки.

18. Двухтактный паровой двигатель внутреннего сгорания по п.17, причем между головкой цилиндров и блоком цилиндров расположен(-ы) водяной инжектор или несколько водяных инжекторов.

19. Способ эксплуатации двухтактного парового двигателя внутреннего сгорания возвратно-поступательного типа с искровым зажиганием по одному из пп.1-18, причем способ включает в себя во время каждого цикла поворота коленчатого вала (16) и соответствующего возвратно-поступательного движения поршня (1) шаг:

(а) открытие впускного клапана (3А) для подачи сжатого окислителя, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения от 90 до 20° до верхней мертвой точки, и закрытие впускного клапана в положении от 10 до 2° до верхней мертвой точки;

(б) открытие впускного клапана (3В) для удаления отработанного газа, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения от -21 до +15° от нижней мертвой точки, и закрытие впускного клапана в положении от 25 до 5° до верхней мертвой точки;

(в) впрыскивание топлива в положении головки поршня от -5 до +5° от верхней мертвой точки и зажигание свечи зажигания непосредственно после закрытия топливного инжектора; и

(г) впрыскивание воды в камеру сгорания в положении головки поршня от 5 до 40° после верхней мертвой точки.

20. Способ по п.19, причем

на шаге (а) осуществляют открытие впускного клапана (3А) для подачи сжатого окислителя, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения примерно от 35 до 25°, предпочтительно 30° до верхней мертвой точки, и закрытие впускного клапана в положении примерно 5° до верхней мертвой точки;

на шаге (б) осуществляют открытие впускного клапана (3В) для удаления отработанного газа, когда головка поршня находится в положении возвратно-поступательного движения от -10 до +5°, предпочтительно 0° от нижней мертвой точки, и закрытие впускного клапана в положении от 20 до 10°, предпочтительно примерно 15° до верхней мертвой точки;

на шаге (в) осуществляют впрыскивание топлива в положении головки поршня 0° от верхней мертвой точки; и

на шаге (г) осуществляют впрыскивание воды в камеру сгорания в положении головки поршня от 7,5 до 30° после верхней мертвой точки.

21. Способ по п.19 или 20, причем масса воды, впрыснутой в камеру сгорания, составляет от 0,8 до 1,5, предпочтительно от 0,9 до 1,2 массы горючих газов внутри камеры сгорания после шага (в).

22. Способ по одному из пп.19-21, причем давление сжатого окислителя, поданного на шаге (а), контролируют посредством блока управления.

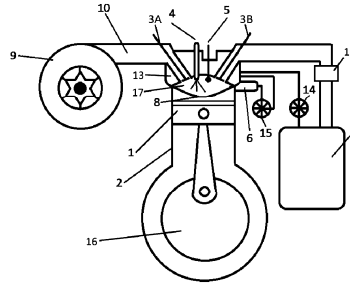
23. Способ по одному из пп.19-22, причем открытие впускного клапана (3А) на шаге (а) регулируют посредством блока управления по величине в диапазоне от 90 до 20°, предпочтительно от 35 до 25°, более предпочтительно 30° до верхней мертвой точки и/или закрытие впускного клапана (3А) на шаге (а) регулируют посредством блока управления по величине в диапазоне от 10 до 2°, предпочтительно 5° до верхней мертвой точки предпочтительно во время каждого цикла.

24. Способ по одному из пп.19-23, причем открытие впускного клапана (3В) на шаге (б) регулируют посредством блока управления по величине в диапазоне от -21 до +15°, предпочтительно от -10 до +5°, более предпочтительно 0° от нижней мертвой точки и/или закрытие впускного клапана (3В) на шаге (б) регулируют посредством блока управления по величине в диапазоне от 25 до 5°, предпочтительно от 20 до 10°, более предпочтительно 15° до верхней мертвой точки предпочтительно во время каждого цикла.

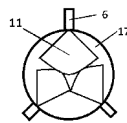
25. Способ по одному из пп.19-24, причем впрыск топлива на шаге (в) регулируют посредством

блока управления по величине в диапазоне от -5° до $+5^\circ$, предпочтительно 0° от верхней мертвой точки предпочтительно во время каждого цикла.

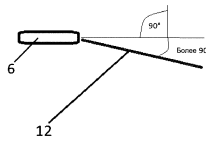
26. Способ по одному из пп.19-25, причем впрыск воды на шаге (г) регулируют посредством блока управления по величине в диапазоне от 5° до 40° , предпочтительно от $7,5^\circ$ до 30° после верхней мертвой точки предпочтительно во время каждого цикла.



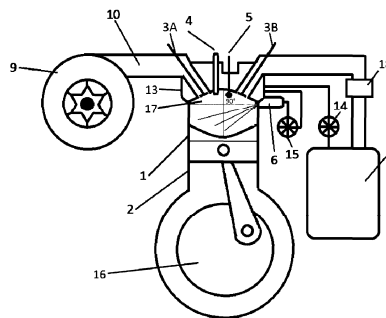
Фиг. 1



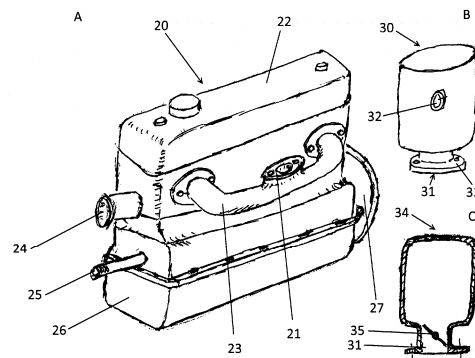
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5