



УКРАЇНА

(19) UA (11) 39191 (13) C2

(51) 7 F02G1/044

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ТЕПЛОВИЙ ДВИГУН

(21) 95063038

(22) 01.12.1993

(24) 15.06.2001

(31) 9225103.2

(32) 01.12.1992

(33) GB

(86) PCT/GB93/02472, 01.12.1993

(46) 15.06.2001, Бюл. № 5, 2001 р.

(72) Коні Майкл Віллафбі Ессекс, GB

(73) НЕШНЛ ПАУЕР ПЛС., GB

(56) US 4195481, A, 01.04.80.

(57) 1. Тепловой двигатель, содержащий камеру сжатия, вмещающую сжимаемый газ и первый поршень для сжатия газа путем перемещения поршня в камере сжатия, и средство привода для привода первого поршня в камере сжатия для сжатия газа, камеру расширения и второй поршень, обеспечивающий расширение газа в этой камере путем перемещения второго поршня из камеры расширения, средство подачи сжатого газа из камеры сжатия в камеру расширения и средство нагрева сжатого газа из камеры сжатия, средство передачи, содержащее механический элемент, функционально связанный со вторым поршнем для отвода мощности от двигателя, средство для образования струи жидкости в камере сжатия для охлаждения сжимаемого в ней газа, **отличающийся** тем, что в нем установлен сепаратор для отделения жидкости от сжатого газа, покидающего камеру сжатия.

2. Двигатель по п.1, **отличающийся** тем, что содержит средство дополнительного нагрева газа в камере расширения во время его расширения.

3. Двигатель по п.2, **отличающийся** тем, что средство нагрева содержит теплообменник для предварительного подогрева сжатого газа из камеры сжатия теплом газа, расширившегося в камере расширения.

4. Двигатель по п.3, **отличающийся** тем, что включает в себя средство возврата для возврата расширившегося газа, покидающего камеру расширения, в камеру сжатия для повторного сжатия.

5. Двигатель по п.4, **отличающийся** тем, что включает в себя средство охлаждения расширившегося газа перед возвратом его в камеру сжатия.

6. Двигатель по п.5, **отличающийся** тем, что средство охлаждения содержит средство теплообменника.

7. Двигатель по любому из пп.2-6, **отличающийся** тем, что средство дополнительного нагрева содержит средство для образования струи горячей жидкости в камере расширения.

8. Двигатель по п.7, **отличающийся** тем, что включает средство подачи для подачи жидкостей по меньшей мере при двух разных температурах для использования в струе жидкости в камере расширения.

9. Двигатель по п. 8, **отличающийся** тем, что включает в себя средство для образования струи жидкости в камере расширения во время сжатия в ней газа для регулирования температуры этого газа.

10. Двигатель по п.1, **отличающийся** тем, что дополнительно содержит камеру сгорания для сгорания топлива, и средство нагрева содержит средство нагрева сжатого газа из камеры сжатия теплом, проведенным по меньшей мере через одну из поверхностей, образующих камеру сгорания.

11. Двигатель по п. 10, **отличающийся** тем, что включает в себя третий поршень в камере сгорания, приводимый в движение в результате сгорания в камере сгорания и функционально связанный с указанным средством передачи.

12. Двигатель по п.2 или 3, **отличающийся** тем, что включает в себя первое клапанное средство для обеспечения доступа газа для сгорания в камеру сжатия, второе клапанное средство для предотвращения возврата газа, находящегося в камере расширения, в камеру сжатия через средство подачи, и средство дополнительного нагрева содержит средство подачи горючего топлива в камеру расширения.

13. Двигатель по п. 12, **отличающийся** тем, что включает в себя средство регулирования скорости потока горючего топлива в камеру расширения.

14. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что дополнительно включает в себя клапанное средство регулирования потока газа из камеры сжатия в камеру расширения.

15. Двигатель по п. 14, **отличающийся** тем, что клапанное средство содержит выпускное клапанное средство для обеспечения вытягивания газа из камеры сжатия после сжатия.

16. Двигатель по п. 14 или 15, **отличающийся** тем, что клапанное средство содержит впускное клапан-

ное средство для доступа горючего сжатого газа из средства нагрева в камеру расширения.

17. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что включает в себя дополнительную камеру, содержащую расширяющийся газ и дополнительный поршень для расширения газа путем перемещения этого поршня из дополнительной камеры, средство подачи сжатого газа из камеры сжатия в дополнительную камеру и средство предварительного подогрева сжатого газа перед вводом его в дополнительную камеру.

18. Двигатель по п. 17, **отличающийся** тем, что средство предварительного подогрева содержит средство подогрева сжатого газа теплом, проведенным по меньшей мере через одну из поверхностей, образующих камеру расширения.

19. Двигатель по п. 17 или 18, **отличающийся** тем, что средство предварительного подогрева содержит средство теплообменника для подогрева сжатого газа расширенным газом из камеры расширения.

20. Двигатель по любому из пп. 17-19, **отличающийся** тем, что дополнительный поршень функционально связан со средством передачи.

21. Двигатель по любому из пп. 14-20, **отличающийся** тем, что включает дополнительное клапанное средство для регулирования потока сжатого газа из средства предварительного подогрева в дополнительную камеру.

22. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что средство привода включает в себя соединяющее средство, соединенное со средством передачи таким образом, что при эксплуатации первый и второй поршни движутся с заданным сдвигом по фазе.

23. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что средство привода функционально связано со средством передачи так, что второй поршень, приводимый в движение расширением газа в камере расширения, приводит первый поршень в движение в камеру сжатия.

24. Двигатель по п.22 или 23, **отличающийся** тем, что дополнительно содержит коленчатый вал, функционально связанный по меньшей мере с одним из средств привода и передачи.

25. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что время выполнения такта сжатия в камере сжатия больше, чем время выполнения такта расширения в камере расширения.

26. Двигатель по п. 17 или любому из пп. 18-25, как зависимых от п. 17, **отличающийся** тем, что скомпонован так, что время выполнения такта сжатия в камере сжатия больше, чем время выполнения такта расширения в дополнительной камере.

27. Двигатель по любому из предшествующих пунктов, **отличающийся** тем, что скомпонован так, что время выполнения двух последовательных сжатий в камере сжатия больше, чем время выполнения двух последовательных расширений в камере расширения.

28. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что содержит средство для размещения объема жидкости и включает в себя трубопровод, охватывающий по меньшей мере один из поршней, причем средство для раз-

мещения включает в себя одну из указанных камер на одном своем конце.

29. Двигатель по п.28, **отличающийся** тем, что средство для размещения жидкости выполнено в виде по существу U-образного трубопровода.

30. Двигатель по п.29, **отличающийся** тем, что содержит пару по существу U-образных трубопроводов, каждый из которых вмещает в себя жидкость в качестве поршня, камеру сжатия, образованную в каждом плече одного трубопровода, и камеру расширения, образованную в каждом плече другого трубопровода, и средство для подачи сжатого газа из одной из камер сжатия в одну из камер расширения, а также средство подачи сжатого газа из другой камеры сжатия в другую камеру расширения.

31. Двигатель по п.30, **отличающийся** тем, что дополнительно содержит другую пару по существу U-образных трубопроводов, причем при эксплуатации жидкостный поршень в одном U-образном трубопроводе, содержащем в себе камеры расширения, по существу сдвинут по фазе на 90° относительно жидкостного поршня в соответствующем U-образном трубопроводе, содержащем в себе другие камеры расширения.

32. Двигатель по любому из пп. 28-31, **отличающийся** тем, что один или каждый первый поршень содержит жидкость, а средство привода содержит элемент, предназначенный для взаимодействия с первым поршнем таким образом, что движение этого элемента сообщает поршню движение по меньшей мере в одном направлении.

33. Двигатель по п.32, **отличающийся** тем, что указанный элемент содержит твердотельный поршень.

34. Двигатель по п.33, **отличающийся** тем, что включает в себя вал, соединенный с твердотельным поршнем и проходящий через стенку трубопровода, содержащего в себе жидкостный поршень.

35. Двигатель по любому из пп.28-34, **отличающийся** тем, что один или каждый второй поршень содержит жидкость, а средство передачи содержит элемент, предназначенный для взаимодействия со вторым поршнем таким образом, что этому элементу сообщается движение жидкостного поршня по меньшей мере в одном направлении.

36. Двигатель по п.35, **отличающийся** тем, что указанный элемент содержит твердотельный поршень.

37. Двигатель по п.36, **отличающийся** тем, что включает в себя вал, соединенный с твердотельным поршнем и проходящий через стенку трубопровода, содержащего в себе жидкостный поршень.

38. Двигатель по любому из пп.28-37, **отличающийся** тем, что включает в себя средство подачи в одно или каждое средство, образующее струю жидкости из жидкостного поршня.

39. Двигатель по п.38, **отличающийся** тем, что средство подачи включает в себя насос, приводимый в действие жидкостным поршнем.

40. Двигатель по любому из пп. 1-27, **отличающийся** тем, что первый и второй поршни содержат твердый материал.

41. Двигатель по п.40, **отличающийся** тем, что включает в себя пару камер сжатия и пару камер

расширения, причем поршни в камерах сжатия и поршни в камерах расширения выполнены с возможностью перемещения по существу в противофазе друг с другом.

42. Двигатель по п.41, **отличающийся** тем, что включает в себя другую пару камер сжатия и другую пару камер расширения, причем поршни в одной паре камер сжатия и поршни в одной паре камер расширения приспособлены к работе по существу со сдвигом по фазе 90° относительно поршней в других парах камер сжатия и расширения.

43. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что средство теплообменника содержит регенератор.

44. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что средство теплообменника содержит рекуперативный теплообменник.

45. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что сепаратор расположен снаружи камеры сжатия.

46. Двигатель по любому из пп.7-9, **отличающийся** тем, что включает в себя сепаратор для отделения жидкости от газа, покидающего камеру расширения.

47. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что включает в себя средство подачи для подачи жидкостей по меньшей мере при двух разных температурах для использования в струе жидкости в одной или каждой камере сжатия.

48. Двигатель по п.47, **отличающийся** тем, что включает в себя средство, образующее струю жидкости в одной или каждой камере сжатия во время расширения газа для регулирования его температуры.

49. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что содержит первый коленчатый вал, связанный с первым поршнем, и второй коленчатый вал, связанный со вторым поршнем.

50. Двигатель по п.49, **отличающийся** тем, что содержит зубчатую передачу, связанную между первым и вторым коленчатыми валами и выполненную таким образом, что время выполнения хода сжатия в камере сжатия больше, чем время выполнения хода расширения в камере расширения.

51. Двигатель по п.50, **отличающийся** тем, что содержит множество камер сжатия, имеющих каждая соответствующий поршень сжатия, связанный

с первым коленчатым валом, и множество камер расширения, имеющих каждая соответствующий поршень расширения, связанный со вторым коленчатым валом.

52. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что включает в себя первое клапанное средство для обеспечения доступа газа для сгорания в камеру сжатия, второе клапанное средство для предотвращения возврата газа, находящегося в камере расширения, в камеру сжатия через средство подачи и кроме того включает в себя турбонагнетатель, предназначенный для повышения давления газа перед впуском в камеру сжатия.

53. Двигатель по п.52, **отличающийся** тем, что турбонагнетатель содержит роторный компрессор и роторный расширитель, установленные на одном и том же валу.

54. Двигатель по п.53, **отличающийся** тем, что средство дополнительного нагрева содержит средство подачи горючего топлива в камеру расширения, средство нагрева содержит средство теплообменника для предварительного подогрева сжатого газа из камеры сжатия теплом выхлопного газа из камеры расширения, и роторный расширитель расположен между выпускным отверстием для выхлопных газов в камере расширения и впускным отверстием для выхлопных газов в средстве теплообменника.

55. Двигатель по любому предшествующему пункту, **отличающийся** тем, что включает в себя приводной вал, связывающий второй поршень с электрогенератором.

56. Тепловой двигатель по п.1, встроенный в двигатель внутреннего сгорания, имеющий камеру сгорания, **отличающийся** тем, что содержит средство теплообменника, выполненное с возможностью нагрева сжатого газа из камеры сжатия теплом от двигателя внутреннего сгорания, причем передающее средство подсоединено к выходному приводу двигателя внутреннего сгорания.

57. Двигатель по п.56, **отличающийся** тем, что средство теплообменника выполнено с возможностью нагрева сжатого газа из камеры сжатия теплом, проведенным по меньшей мере через одну из поверхностей, образующих камеру сгорания.

58. Двигатель по п.56 или 57, **отличающийся** тем, что средство теплообменника выполнено с возможностью нагрева сжатого газа из камеры сжатия теплом выхлопных газов из камеры сгорания.

Это изобретение относится к тепловым двигателям и тепловым насосам, и, в частности, к тепловым двигателям и тепловым насосам, предназначенным для выработки электроэнергии и/или тепла для бытовых приложений, отраслей инфраструктуры, коммерческой обрабатывающей промышленности.

Достижение высокого термического КПД почти всегда является важным соображением в области выработки электроэнергии по той причине,

что затраты на топливо, как правило, составляют около двух третей затрат на выработанную электроэнергию. Помимо мотивации с точки зрения затрат, соображения охраны окружающей среды требуют затрачивать больше усилий на достижение более высоких КПД, чтобы минимизировать выработку диоксида углерода и других нежелательных выбросов.

Вообще говоря, легче достичь большего КПД и меньших выбросов в крупных энергоблоках,

чем в малых. Это происходит, в частности, потому, что имеют место тепловые потери, трение и утечки, пропорционально менее значимые в крупных блоках, чем в малых. Преимущества, связанные с крупным масштабом также дают возможность иметь более сложное оборудование на крупных блоках. В случае малых станций стоимость такого оборудования может сделать его применение невозможным.

Несмотря на эти факторы, существуют обстоятельства, когда малые энергоблоки нужны, и важно, чтобы они были как можно более эффективными и безвредными для окружающей среды. Эта ситуация возникает во многих частях света, где отсутствует энергосистема. Может произойти так, что строительство электростанции для подачи электроэнергии выходит за рамки финансовых возможностей местного населения, или так, что спрос на электричество слишком мал, чтобы оправдать такое строительство. Первая ситуация возникает во многих менее развитых странах. Последняя ситуация имеет место во многих отдаленных или малонаселенных регионах и на прибрежных островах.

Другая возможность применения двигателей с малыми КПД возникает в связи с комбинированной выработкой тепла и электроэнергии (КВТЭ). Совместное использование тепла и электроэнергии обычно сказывается в более высоком энергетическом КПД, чем при использовании мощности, потребляемой от сети энергосистемы. Поскольку тепло неэкономично передавать на какое-либо значительное расстояние, системы КВТЭ должны быть рассчитаны на местную тепловую нагрузку. Это обычно обуславливает энергоблоки небольших размеров.

Раскрытое здесь изобретение можно применять либо в качестве теплового двигателя, либо, в модифицированном виде, в качестве теплового насоса. Тепловые насосы передают тепло от низкотемпературного источника тепла к высокотемпературному теплоотводу. Например, в холодную погоду тепловой насос может выделять тепло из атмосферного воздуха и перекачивать его для достижения более высокой температуры с целью нагрева здания. Наоборот, в жаркую погоду тепловой насос может работать как агрегат для кондиционирования воздуха с целью выделения тепла из внутреннего воздуха здания и выброса его во внешнюю атмосферу, даже в том случае, если температура снаружи здания выше, чем температура внутри. Тепловой насос можно также использовать для охлаждения воздуха, чтобы сконденсировать находящиеся в нем пары воды. Тепло, отводимое от теплового насоса можно затем использовать для восстановления запаса тепла в воздухе. В этом случае тепловой насос используют для осушения воздуха. Как и в случае КВТЭ, тепловые насосы должны иметь размеры, соответствующие местной тепловой нагрузке. Следовательно, наибольшую потребность в тепловых насосах нужно будет удовлетворить скорее в виде малых энергоблоков, чем в виде больших.

Большинство типов теплового насоса, агрегата кондиционирования воздуха или холодильных установок требуют использования испаряющейся/конденсирующейся текучей среды, которая

кипит при соответствующей температуре, такой среды, как хлорфторуглероды (ХФУ). Эти вещества известны как разрушители озонового слоя, который защищает жизнь человека и животных от вредного ультрафиолетового излучения. Хотя и известны определенные альтернативы ХФУ, некоторые из них также вызывают разрушение озонового слоя, но – в меньшей степени. Другие альтернативы имеют такие недостатки, как воспламеняемость, токсичность, высокая стоимость, низкие термодинамические свойства, или тенденция к усугублению глобального потепления.

Известны двигатели и тепловые насосы, основанные на цикле Стирлинга. Одна из разновидностей двигателя Стирлинга включает в себя камеру сжатия и камеру расширения, соединенные посредством регенеративного теплообменника и образующие газовое пространство, которое содержит рабочий газ. Согласно идеальному циклу Стирлинга, рабочий газ в камере сжатия сжимают поршнем и подвергают изотермическому сжатию, а тепло сжатия отводят в низкотемпературный теплоотвод. После завершения этого процесса рабочий газ нагнетают через регенератор, в котором его подогревают перед вводом в камеру расширения. При расширении к рабочему газу подводят тепло, так что он расширяется изотермически. Горячий расширившийся газ после этого нагнетают обратно через регенератор, которому он отдает свое тепло перед попаданием в камеру сжатия, чтобы начать следующий цикл.

В Патенте США № 4148195 раскрыт тепловой насос с тепловым приводом, который требует наличия высокотемпературного источника тепла, такого, как сжигание топлива, и другого источника тепла при низкой температуре, такого, как атмосферный воздух. Выход тепла происходит при промежуточной температуре. Назначение теплового насоса заключается в том, чтобы преобразовать некоторое количество тепловой энергии при высокой температуре в большее количество тепловой энергии при промежуточной температуре. Это осуществляют путем выделения тепловой энергии из низкотемпературного источника тепла. Раскрытый в Патенте США № 4148195 тепловой насос с тепловым приводом представляет собой систему с замкнутым циклом, без клапанов, что приближает ее цикл к циклу Стирлинга. Жидкостные поршни, которые находятся в ряду из четырех взаимосвязанных U-образных трубок и соединены в замкнутый контур, перемещают рабочий газ между соседними камерами расширения и сжатия, образованными в плечах U-образных трубок. Жидкостные поршни передают энергию по замкнутому контуру непосредственно от расширяющегося газа в камере расширения сжимаемому газу в соседней камере сжатия, причем камера расширения и камера сжатия расположены в противоположных плечах одной и той же U-образной трубки. Четыре U-образных трубки соединены посредством газового пространства с регенераторами. Два из четырех регенераторов и связанные с ними объемы газа работают в диапазоне температур между высокой температурой и промежуточной температурой. Цикл осуществляют таким образом, что энергия передается посредством среды жидкостных поршней от объемов газа, работающих в области высо-

ких температур, объемам газа, работающим в области низких температур.

В "21st Inter-society Energy Conversion Engineering Conference", Volume I (1986), pages 377 to 382, раскрыт тепловой насос, работающий на принципе теплового цикла Стирлинга, подобный тому, который раскрыт в патенте США 4148195, в котором рабочий газ нагревают или охлаждают путем забора жидкости из жидкостного поршня, нагрева или охлаждения жидкости извне и повторного нагнетания ее в цилиндр расширения или сжатия в виде аэрозоля.

Один из недостатков этих известных тепловых насосов состоит в том, что максимальная рабочая температура высокотемпературного источника тепла очень низка по сравнению с той, которой можно достичь с помощью современных усовершенствованных технологий выработки электроэнергии, таких, как использующие газовую турбину с комбинированным циклом. Например, температура, при которой в тепловой насос поступает дополнительное тепло, наиболее вероятно ограничена величиной 400°C, тогда как температура во впускном отверстии турбины современной газовой турбины для выработки электроэнергии составляет до 1300°C. Следовательно, КПД преобразования тепла высокой температуры во внутреннюю работу в тепловом насосе с тепловым приводом также мал, как и следовало ожидать из условий теоремы Карно. В результате общий КПД работы очень мал.

Другой недостаток теплового насоса с тепловым приводом, раскрытого в Патенте США № 4148195, заключается в том, что жидкостные поршни должны быть очень длинными, чтобы добиться низкой собственной частоты колебаний. Частота колебаний должна быть низкой, так как должно пройти достаточное время, требуемое для теплопередачи между капельным аэрозолем и газом. Требуемую длину жидкостного поршня, в частности, трудно реализовать в малом устройстве, работающем при высоком давлении. Кроме того, потери на трение, возникающие в случае длинных жидкостных поршней, станут, вероятно, неприемлемо высокими в случае малого устройства. Помимо этого, большая величина отношения длины к протяженности хода является обязательным условием для того, чтобы избежать так называемых челночных потерь, возникающих из-за того, что оба конца жидкостного поршня поддерживаются при разных температурах и, следовательно, происходит некоторое смешивание жидкости и носителя тепла.

В Патенте США № 3608311 раскрыт двигатель, работа которого основана на цикле Карно, в котором газ последовательно сжимается и расширяется в единственном цилиндре жидкостным вытеснителем. Горячую и холодную жидкость из жидкостного вытеснителя попеременно впрыскивают в цилиндр, чтобы нагреть газ в течение части процесса расширения и охладить газ в течение части процесса сжатия.

Один из недостатков этого известного теплового двигателя состоит в том, что выработка энергии за цикл относительно мала, поскольку это требует исключительно высокого коэффициента сжатия для поднятия температуры рабочего газа

до оправданной величины во время адиабатического сжатия, а такой коэффициент сжатия невозможно реализовать на практике. Еще один недостаток этого двигателя состоит в том, что рабочий газ совершает непрерывный цикл между высокой и низкой температурами, оставаясь во время всего процесса в одном и том же цилиндре. Поэтому стенки цилиндра также совершают цикл от низкой к высокой температуре и обратно, что обуславливает большие изменения энтропии и уменьшение термодинамического КПД.

В соответствии с одним из аспектов настоящего изобретения предлагается тепловой двигатель, содержащий камеру сжатия, содержащую сжимаемый газ и первый поршень для сжатия указанного газа путем перемещения поршня в камере сжатия, и средство привода приспособленное для привода первого поршня в камеру сжатия для сжатия указанного газа, камеру расширения и второй поршень, обеспечивающий расширение газа в этой камере путем перемещения второго поршня из камеры расширения, средство подачи сжатого газа из камеры сжатия в камеру расширения и средство нагрева сжатого газа из камеры сжатия, средство передачи, функционально связанное со вторым поршнем с целью отвода мощности от двигателя, и средство образующее струю жидкости, в камере сжатия для охлаждения сжимаемого в ней газа.

Одним из преимуществ этой компоновки является то, что тепло эффективно отводится в жидкость в струе жидкости при самых низких температурах за цикл теплового двигателя. Кроме того, расширение происходит в отдельной камере, так что температуры в каждой камере и, следовательно, различные части камеры и поршней не совершают цикл между высокими и низкими температурами, за счет чего происходило бы уменьшение КПД.

В предпочтительном варианте осуществления двигатель дополнительно содержит средство дополнительного нагрева газа в камере расширения во время его расширения. Таким образом, процесс расширения может быть приближенно изотермическим.

Средство нагрева предпочтительно включает средство теплообменника, предназначенное для подогрева сжатого газа из камеры сжатия теплом газа, расширенного в камере расширения. Таким образом, расширяя газ изотермически в камере расширения, обеспечивают возможность восстановления части этого тепла в теплообменнике, который используют для подогрева сжатого газа из камеры сжатия перед расширением. Теплообменник может, например, быть регенеративным теплообменником, если расширяющийся газ из камеры расширения протекает по тому же пути, что и поступающий сжатый газ из камеры сжатия, или рекуперативным теплообменником, если газы протекают по разным путям. Рекуперативный теплообменник выгоден, в частности, там, где требуется теплообмен между двумя газами, когда смешивание газов нежелательно, и/или два газа поддерживаются при существенно разных давлениях.

Один из вариантов осуществления включает в себя средство возврата расширившегося газа,

остающегося в камере расширения, в камеру сжатия для повторного сжатия. Средство возврата может быть отдельным от средства подачи сжатого газа в камеру сжатия, или рабочий газ может перетекать назад и вперед между камерами сжатия и расширения по одному и тому же пути. Варианты осуществления, в которых одно и то же тело рабочего газа непрерывно рециклируется между камерами сжатия и расширения, будут именоваться двигателем с замкнутым циклом. Поскольку рабочий газ герметизирован внутри двигателя, то его можно предварительно сжать таким образом, что минимальное давление, достигаемое газом в течение цикла, гораздо больше атмосферного давления.

В одном из вариантов осуществления двигателя средство дополнительного нагрева газа в камере расширения содержит средство, образующее струю горячей жидкости в камере расширения. Жидкость, используемую в струе, можно нагревать с помощью внешнего теплообменника, а источником тепла может быть тепло от сжигания отходов, например – тепло от сжигания промышленных отходов, солнечная энергия или тепло из системы охлаждения камеры сгорания. Использование струи горячей жидкости для передачи тепла в камеру расширения является конкретным преимуществом в случае применения в двигателях с замкнутым циклом, источник тепла которой поддерживается при относительно низкой температуре. Жидкостные струи непригодны для использования при высоких температурах.

Другой вариант осуществления включает в себя первое клапанное средство, задействуемое для того, чтобы обеспечить доступ воздуха или иного окисляющего газа в камеру сжатия, второе клапанное средство, задействуемое для того, чтобы предотвратить возврат газа, находящегося в камере расширения, в камеру сжатия через средство подачи сжатого газа в камеру расширения, и в этом варианте средство дополнительного нагрева содержит средство подачи горючей смеси в камеру сгорания. В этом варианте смесь топлива и горячего сжатого газа в камере расширения воспламеняется, и после расширения продуктов сгорания они вытесняются из двигателя с помощью средства теплообменника. Поэтому в начале каждого цикла необходима свежая порция рабочего газа. Варианты осуществления, в которых рабочий газ обновляется в каждом цикле, будут называться двигателем с незамкнутым циклом. Одна из форм такого варианта осуществления может включать в себя средство контроля скорости потока сжигаемого топлива в камеру расширения для того, чтобы обеспечить по существу изотермическое расширение.

Вообще говоря, предпочтительно, чтобы первый и второй поршни обеспечивали надлежащее уплотнение для рабочего газа, и это, в частности, важно в двигателе с замкнутым циклом. Предпочтительно, первый и/или второй поршни могут содержать жидкость, исключая таким образом затруднения с уплотнением, которые могли бы в противном случае иметь место – если бы поршня были жесткими. Предпочтительный вариант осуществления содержит пару в основном U-образных трубопроводов, каждый из которых

содержит тело жидкости в качестве поршня, камеру сжатия, образованную в каждом плече одного трубопровода, и камеру расширения, образованную в каждом плече другого трубопровода, и средство подачи сжатого газа из одной из камер сжатия в одну из камер расширения, а также отдельное средство, подающее сжатый газ из другой камеры сжатия в другую камеру расширения. В этом варианте и расширение, и сжатие происходит дважды за цикл, а синхронизацию жидкостных поршней предпочтительно осуществляют так, что процесс расширения в одной из камер расширения приводит в действие процесс сжатия в одной из камер сжатия. Этого можно достичь путем надлежащего соединения между средством привода и средством передачи. Предпочтительный вариант осуществления содержит другую пару в основном U-образных трубопроводов, вследствие чего при эксплуатации жидкостной поршень в одном U-образном трубопроводе, заключающем в себе камеры расширения, выполнен по существу со сдвигом по фазе 90° относительно жидкостного поршня в соответствующем U-образном трубопроводе, содержащем другие камеры расширения. Таким образом, следует признать, что такая компоновка в состоянии обеспечить наличие положительной отдаваемой выходной мощности на каждом этапе полного цикла двигателя, устраняя тем самым потребность в маховике или ином средстве поддержания работоспособности двигателя между рабочими тактами.

Когда расширившийся газ нагнетается из камеры расширения за счет перемещения второго поршня в камеру расширения, давление газа увеличивается. Предпочтительный вариант двигателя включает средство подачи жидкостей по меньшей мере при двух разных температурах для использования в жидкостной струе в камере расширения и включает средство образования струи жидкости во время сжатия газа в камере расширения для регулирования температуры газа. Температура жидкостной струи предпочтительно такова, что температура газа остается постоянной при его сжатии. Предпочтительно, чтобы в случае, когда второй поршень содержит жидкость, средство подачи было расположено так, чтобы оно могло обеспечивать подачу жидкости из жидкостного поршня непосредственно в средство образования струи.

После сжатия газа в камере сжатия давление газа уменьшается и газ расширяется в результате перемещения обоих поршней из своих соответствующих камер. Предпочтительный вариант осуществления включает в себя средство подачи жидкостей по меньшей мере при двух разных температурах в жидкостную струю в камере сжатия, а также включает средство образования струи жидкости при расширении газа в камере сжатия для регулирования температуры газа. Предпочтительно, температура жидкостной струи такова, что температура газа остается постоянной при его расширении. Предпочтительно, чтобы в случае, когда первый поршень содержит жидкость, средство подачи было расположено так, чтобы оно могло обеспечить подачу жидкости из первого поршня непосредственно в средство образования струи.

Когда любой из первых поршней содержит жидкость, средство привода может содержать элемент, предназначенный для взаимодействия с первым поршнем таким образом, что движение этого элемента сообщает поршню движение по меньшей мере в одном направлении. Элемент может содержать твердотельный поршень, погружаемый в жидкостной поршень или приспособленный к тому, чтобы плавать на его поверхности. К твердотелу поршню может быть подсоединен вал, проходящий через стенку трубопровода, заключающего в себе жидкостной поршень.

Точно так же, когда любой из вторых поршней содержит жидкость, средство передачи может содержать элемент, предназначенный для взаимодействия со вторым поршнем таким образом, что этому элементу сообщается движение жидкостного поршня по меньшей мере в одном направлении. К твердому поршню может быть подсоединен вал, проходящий через стенку трубопровода, заключающего в себе второй поршень.

Вместо этого, первый и второй поршни могут содержать твердый материал. Один из вариантов осуществления включает в себя пару камер сжатия и пару камер расширения, и при использовании этого варианта поршни в камерах сжатия приспособлены к движению по существу в противофазе друг с другом, и поршни в камерах расширения приспособлены к движению по существу в противофазе друг с другом. В предпочтительном варианте осуществления предусмотрены другая пара камер сжатия и другая пара камер расширения, и при использовании этого варианта поршни в одной паре камер сжатия приспособлены к движению со сдвигом по фазе 90° относительно поршней в другой паре камер сжатия, и поршни в одной паре камер расширения приспособлены к движению по существу со сдвигом по фазе 90° относительно поршней в другой паре камер расширения.

Предпочтительно, в двигателе с замкнутым циклом средство теплообменника содержит регенератор. Назначение этого регенератора заключается в том, чтобы эффективно доставлять передаваемое тепло в рабочий газ и отводить тепло из него.

В предпочтительном варианте предусмотрены отделющие средства для отделения жидкости от газа, покидающего единственную или каждую камеру расширения.

Там, где первый и/или второй поршни содержат жидкость, предпочтительно предусмотрены средства подачи жидкости из жидкостных поршней в единственное или каждое средство, образующее струю жидкости. Предпочтительно средство подачи может включать в себя насос, приводимый в действие соответствующим поршнем.

В одном из вариантов осуществления средство привода включает в себя соединяющее средство, соединенное со средством передачи таким образом, что при использовании этого варианта осуществления первый и второй поршни движутся с заданным сдвигом по фазе. Следует признать, что соединение первого и второго поршней, например – с помощью механического средства, такого, как коленчатый вал, является обычным спосо-

бом создания возможности достижения больших коэффициентов сжатия и, в то же время, поддержания фазирования поршней. Сдвиг по фазе между первым и вторым поршнями может быть таким, что второй поршень будет опережать первый по меньшей мере на 90° . Вместо этого привод поршней может быть независимым, а каждый поршень может быть оснащен средством соединения с внешним приводом, чтобы противопоставить значительные усилия давлениям в соответствующих камерах.

В одном из вариантов осуществления двигатель может дополнительно содержать камеру сгорания для сгорания топлива, при этом средство нагрева содержит средство нагрева сжатого газа из камеры сжатия теплом, проводимым по меньшей мере через одну из поверхностей, ограничивающих камеру сгорания двигателя. Таким образом, настоящее изобретение преимущественно легко можно применить для создания устройства охлаждения обычного двигателя внутреннего сгорания (бензинового, дизельного или газового), которое восстанавливает тепло, как правило, сбрасываемое обычным устройством охлаждения, и превращает это тепло в полезную мощность. В камере сжатия производится холодный сжатый газ, и тепло, потерянное стенками камеры сжатия, передается сжатому газу, чтобы обеспечить охлаждение двигателя. Тот же способ можно использовать и для восстановления тепла из выхлопных газов обычного двигателя внутреннего сгорания, например – путем пропускания каналов охлаждения сжатого воздуха через выхлопной патрубок или путем включения теплообменника, через который должны проходить выхлопные газы. Подогретый сжатый газ затем впрыскивают в камеру расширения, там он расширяется, увлекая поршень из камеры и тем самым производя полезную механическую работу. В одном из вариантов осуществления поршень камеры расширения может быть соединен с внешним выходным приводом двигателя. Эта компоновка имеет преимущество повышения КПД по сравнению с обычными двигателями внутреннего сгорания.

В соответствии с другим аспектом настоящего изобретения, предлагается тепловой насос, содержащий камеру расширения, содержащую расширяющийся газ и первый поршень для обеспечения расширения указанного газа путем перемещения поршня из камеры расширения, камеру сжатия, содержащую сжимаемый газ и второй поршень для сжатия указанного газа путем перемещения второго поршня в камеру сжатия, средство подачи газа из одной из камер расширения и сжатия в другую камеру, и средство, образующее струю жидкости в камере сжатия для поглощения тепла из указанного газа при сжатии, причем второй поршень приспособлен к приводу от внешнего источника энергии для перемещения в камеру сжатия с целью сжатия газа.

Этот вид теплового насоса позволяет передавать перекачиваемое тепло к внешнему теплоотводу исключительно эффективно – посредством вещества жидкостной струи в камере горячего сжатия, и в то же самое время привод насоса может быть осуществлен с помощью, например, механического соединения, от внешнего источника

энергии и, в частности, от электродвигателя, с целью обеспечения более высокого КПД теплового насоса, чем тот, которого можно достичь с помощью известных тепловых насосов.

Предпочтительно, этот вид теплового насоса может осуществлять нагрев или охлаждение либо в замкнутом цикле, либо в незамкнутом цикле. Например, один из вариантов осуществления можно приспособить для кондиционирования воздуха, и в этом варианте воздух нагнетают в камеру сжатия из внешнего источника, сжимают по существу изотермически с помощью жидкостной струи и пропускают в камеру расширения, где он расширяется так, что совершает работу, возвращая часть энергии, использованной для сжатия. Расширение может быть адиабатическим, так что газ расширяется, а охлажденный газ можно затем отводить из теплового насоса для обеспечения кондиционирования воздуха. Вместо этого, другой вариант осуществления теплового насоса может дополнительно включать в себя средство подвода тепла в газ при его расширении в камере расширения таким образом, что расширение является приблизительно изотермическим. Это можно эффективно осуществить, используя жидкостную струю в камере расширения. Тепло поглощается из капель жидкости, это охлаждает ее, а жидкость из охлажденной струи можно использовать для охлаждения, например – для кондиционирования воздуха. Впрыскивание струи жидкости в камеру расширения также позволяет эффективно передавать тепло от низкотемпературного источника тепла, так что тепловой насос может перекачивать это тепло в теплоотвод с более высокой температурой – с целью нагрева. Тепловой насос можно модифицировать как для незамкнутого, так и для замкнутого цикла.

В другом варианте осуществления тепловой насос может дополнительно содержать средство теплообменника, приспособленное для подогрева расширившегося газа теплом от сжатого газа, выходящего из камеры сжатия. Это, в частности, предпочтительно в замкнутом цикле, когда один и тот же газ прокачивают назад и вперед между камерами расширения и сжатия.

Предпочтительный вариант осуществления включает в себя соединяющее средство для соединения второго поршня с внешним источником энергии, причем это соединяющее средство приспособлено к созданию значительного усилия для противодействия давлению газа в камере сжатия. Соединение теплового насоса с внешним источником энергии таким образом позволяет допустить гораздо большие давления, следовательно, позволяет достичь гораздо большего коэффициента сжатия в камере сжатия, так что можно перекачивать большее количество тепла на цикл, чем то, которого можно достичь с помощью известных насосов. В то же время, использование такого соединения позволяет сделать тепловой насос компактным, поскольку наличие высоких давлений (и, следовательно, отдаваемой мощности) не сказывается на инерции поршней, которые должны были бы быть относительно массивными и, следовательно, большими по размеру. Соединяющее средство может, например, содержать коленчатый вал.

В предпочтительном варианте осуществления, первый и второй поршни соединены механическим соединяющим средством, например – коленчатым валом, так что можно легко регулировать фазирование поршней.

Другое важное преимущество теплового насоса в соответствии с настоящим изобретением заключается в том, что он не требует наличия испаряющейся или конденсирующейся текучей среды, и что его можно использовать, применяя газ, который не конденсируется, и жидкость, которая не испаряется в сколько-нибудь значительной степени. Требования относительно конкретной температуры кипения не накладываются. В самом деле, можно выбрать такой газ, как гелий, и такую жидкость, как воду, которые не наносят вред окружающей среде при выбросе. Это тоже важное преимущество предлагаемого теплового насоса. Дополнительное преимущество отсутствия требований относительно конкретной температуры кипения заключается в том, что тепловой насос может работать в более широком диапазоне температур, чем обычные тепловые насосы.

Тепловой насос может включать в себя любой один или несколько вышеупомянутых предпочтительных признаков в сочетании с тепловым двигателем.

Варианты осуществления теплового двигателя и теплового насоса могут включать в себя любые количества камер расширения и сжатия, причем количества камер расширения и сжатия не обязательно равны.

Теперь примеры вариантов осуществления настоящего изобретения будут описаны со ссылками на чертежи, на которых:

фиг. 1 – принципиальная схема первого варианта осуществления настоящего изобретения, который включает в себя жидкостные поршни и функционирует в замкнутом цикле,

фиг. 2 – принципиальная схема второго варианта осуществления настоящего изобретения, который включает в себя жидкостные поршни и функционирует в незамкнутом цикле,

фиг. 3 – принципиальная схема третьего варианта осуществления настоящего изобретения, который включает в себя твердотельные поршни и функционирует в замкнутом цикле, и

фиг. 4 – принципиальная схема четвертого варианта осуществления настоящего изобретения, который включает в себя твердотельные поршни и функционирует в незамкнутом цикле.

Обращаясь к фиг. 1, отмечаем, что на ней показана пара U-образных трубопроводов 1 и 3, каждый из которых заключает в себе тело жидкости 5 и 7. В каждом плече 13 и 15 одного из U-образных трубопроводов 1 образована камера сжатия 9, 11, а в каждом плече 21, 23 другого U-образного трубопровода 3 образована камера расширения 17. Одна из камер сжатия 9 соединена через регенератор 25 с одной из камер расширения 19, а другая камера сжатия 11 соединена через другой регенератор 27 с другой камерой расширения 17. На практике U-образные трубопроводы, изображенные на фиг. 1, должны быть повернуты каждый на 90°, будучи обращенными друг к другу, при регенераторах, имеющих одну и ту же длину. Таким образом, два U-образных трубопро-

вода с регенераторами имеют конфигурацию седла и будут именоваться "седлообразным контуром". Двигатель или тепловой насос, состоящий из одной взаимосвязанной массы газа с одним регенератором, одной камерой сжатия и одной камерой расширения, каждая из которых имеет жидкостной или твердотельный поршень и каждая из которых имеет средство для подвода или отвода тепла, именуется "полуседловидным контуром".

В обоих камерах сжатия и обоих камерах расширения предусмотрены струи жидкости. Жидкость, используемую в струях 29 и 31 в камерах сжатия, предпочтительно отводят из тела жидкости в трубопроводе 1, а струи жидкости 33 и 35 в камерах расширения 17 и 19 предпочтительно отводят из жидкости в соответствующем трубопроводе 3. Жидкость, отведенную из трубопровода 1, можно пропускать через охлаждающее устройство (не показано) перед впрыскиванием в камеры сжатия 9 и 11, а жидкость, отведенную из трубопровода 3, можно пропускать через устройство нагрева перед впрыскиванием в камеры расширения 17 и 19. Рабочий газ заполняет пространство, образованное камерами сжатия 9 и 11 и их соответствующими камерами расширения 19 и 17, и посредством этого газа они сообщаются через соответствующий регенератор 25 и 27. Между камерами и соответствующими регенераторами предусмотрены отделители 37, 39, 41 и 43, предназначенные для отвода любой жидкости, имеющейся в рабочем газе, до того, как текучая среда пройдет через соответствующий регенератор.

Каждый U-образный трубопровод 1 и 3 имеет линейный участок 45 и 47, соединяющий соседние плечи. Предусмотрено механическое средство соединенное с каждым поршнем, чтобы передавать мощность к поршням и от поршней. В этом варианте осуществления твердотельный поршень 49 и 51 расположен в каждом из линейных участков трубопровода и может свободно совершать линейное движение вдоль длины этих участков, при наличии образованных с каждой стороны жидкостных поршней. К каждому твердотельному поршню 49 и 51 подсоединен ведущий вал 53, 55, проходящий через стенку каждого трубопровода с тем, чтобы обеспечить средство привода или передачи мощности от жидкостных поршней.

Два ведущих вала связаны воедино внешним механизмом привода так, что перемещение каждого поршня изменяется во времени приблизительно по синусоидальному закону, и так, что между поршнями в разных трубопроводах поддерживается заданный сдвиг по фазе. Этого можно достичь, например, соединяя ведущие валы 53 и 55 с коленчатым валом, как это делается в бензиновых или дизельных двигателях.

Двигатель функционирует за счет пропуска рабочего газа через термодинамический цикл, который включает в себя повторяющиеся сжатия и расширения. Сжатие происходит тогда, когда большая часть рабочего газа находится в камере сжатия 9 и 11, тогда как расширение происходит тогда, когда большая часть рабочего газа находится в камере расширения 17 и 19. Этого можно достичь, располагая поршни в камере расширения так, чтобы они опережали поршни в камере сжатия на фазовый угол 90° . Фазовый угол между

поршнями в камерах расширения или камерах сжатия составляет 180° . При такой компоновке процесс расширения в одной из камер расширения будет приводить в действие процесс сжатия в другой камере сжатия. Например, расширение в камере 19 будет приводить в действие сжатие в камере 11, а расширение в камере 17 будет приводить в действие сжатие в камере 9.

Теперь будет описан один полный цикл работы двигателя в связи лишь с одной камерой сжатия и одной камерой расширения, начиная со сжатия в камере сжатия 9. В начале сжатия жидкостной поршень в камере сжатия 9 находится в нижней точке своего хода, а поршень в камере расширения 19 находится в средней точке своего хода и перемещается вверх. Большая часть рабочего газа, заключенного в камерах сжатия 9 и расширения 19, находится в камере сжатия 9. Поршень сжатия движется в камеру сжатия 9 и сжимает рабочий газ до достижения давления газа, обуславливаемого движением поршня расширения в камеру расширения 19. В камеру сжатия впрыскивают холодную жидкость для охлаждения рабочего газа при сжатии. Эту жидкость можно получить, отводя жидкость из холодного жидкостного поршня (т.е., поршня сжатия), а затем – пропуская ее через внешнее устройство охлаждения (не показано) перед впрыскиванием в камеру сжатия. Когда поршень сжатия в камере сжатия 9 находится в средней точке своего хода, поршень расширения в камере расширения 19 находится в верхней точке своего хода и близок к началу перемещения в обратном направлении. Когда поршень сжатия продолжает движение вверх в камере сжатия, сжатие рабочего газа продолжается, но в то же время холодный сжатый газ начинает протекать через регенератор в направлении камеры расширения 19, так что поршень расширения начинает двигаться вниз. Холодный сжатый газ, выходящий из камеры сжатия 9, подогревается теплом от расширившегося газа, который вышел из камеры расширения в конце предыдущего цикла.

Когда поршень сжатия в камере сжатия 9 достиг верхней точки своего хода, поршень расширения в камере расширения 19 находится в средней точке своего хода и движется вниз, из камеры расширения. В камеру расширения всprysкивают горячую жидкость, чтобы поддерживать температуру газа, когда он расширяется при продолжении движения вниз поршня расширения. Эту жидкость можно получить, отводя жидкость из горячего жидкостного поршня (т.е. поршня расширения), а затем, пропуская ее через внешнее устройство нагрева (не показано) перед впрыскиванием в камеру расширения. В то же время, поршень сжатия уже сменил направление движения и движется из камеры сжатия 9. Чтобы предотвратить охлаждение газа в камере сжатия при расширении, может быть выгодно впрыскивать жидкость, отведенную непосредственно из жидкостного поршня, а не жидкость, предварительно охлажденную во внешнем охлаждающем устройстве.

Когда поршень расширения достигнет нижней точки своего хода в камере расширения 19, поршень сжатия будет находиться в средней точке своего хода в камере сжатия 9 и перемещаться вниз. Поршень расширения меняет направление

движения на обратное, и оба поршня движутся в противоположных направлениях, увлекая рабочий газ из камеры расширения через регенератор в камеру сжатия. Горячий расширившийся воздух, выходящий из камеры расширения, предварительно охлаждают в регенераторе перед возвратом в камеру сжатия. Когда поршень расширения движется вверх в камере расширения, газ, остающийся в этой камере, претерпевает некоторое сжатие. Чтобы предотвратить нагрев этого газа, можно впрыскивать жидкость в камеру расширения. Эту жидкость предпочтительно следует брать из горячего жидкостного поршня, а не пропускать через внешнее нагревательное устройство. Когда поршень сжатия в камере сжатия 9 достигает нижней точки своего хода, расширяющий поршень в камере расширения 19 находится в средней точке своего хода и движется вверх в камеру расширения, поршень сжатия изменяет направление своего движения на обратное и цикл повторяется.

Как упоминалось выше, термодинамический цикл в камерах 9 и 19 сдвинут по фазе на 180° относительно цикла в камерах 11 и 17. Таким образом, такт расширения в камере 19 приводит в действие такт сжатия в камере 11, а такт расширения 17 приводит в действие такт сжатия в камере 9. Тем не менее, в цикле есть точки между тактами сжатия и расширения, когда отдаваемой выходной мощности двигателя нет. Таким образом, чтобы обеспечить функционирование двигателя в течение всего цикла, можно использовать маховик или использовать инерцию самих поршней, если они достаточно массивны. Вместе с тем, можно исключить потребность в маховике, предусматривая наличие второго седлообразного контура, рабочий цикл которого сдвинут по фазе на 90° относительно рабочего цикла первого седловидного контура. Этого можно достичь, вводя подходящий внешний механизм привода. Этот вариант теплового двигателя, следовательно, способен обеспечить отдаваемую выходную мощность на всех этапах цикла.

Одним из наиболее важных признаков вышеуказанного двигателя является использование струй горячей и холодной жидкости для поддержания температуры рабочего газа в каждой камере на желаемом уровне. Как указано выше, струи жидкости можно подавать в течение всего цикла, хотя жидкость проходит через теплообменники только в течение части цикла впрыскивания. Причину этого можно объяснить в связи с каждой камерой в отдельности.

При сжатии функции струи заключается в том, чтобы поддерживать температуру рабочего газа в камере сжатия как можно более низкой. Поэтому жидкость следует пропускать через внешнее охлаждающее устройство в течение этой части цикла. Когда газ, в следующей части цикла, расширяется функция струи заключается в том, чтобы предотвратить слишком сильное охлаждение этого газа. В течение этой части цикла лучше брать жидкость непосредственно из жидкостного поршня, а не охлаждать ее.

Противоположная аргументация применима к камере расширения. При расширении газ должен быть как можно более горячим, и поэтому струю жидкости нужно пропускать через внешнее нагревательное устройство. При сжатии важно не до-

пустить слишком сильного нагрева газа. Поэтому на данной стадии жидкость следует брать непосредственно из жидкостного поршня.

В одном из вариантов осуществления перекачивание жидкости, используемой для образования струи, можно осуществить, непосредственно используя возвратно-поступательное движение поршня и ведущего вала. Насос, который можно установить внутри трубопровода, содержит малый поршень, приводимый в движение жидкостным поршнем, твердотельным поршнем или ведущим валом, и этот малый поршень установлен с возможностью скольжения в цилиндре, содержащем обратные клапаны. Можно предусмотреть по одному насосу в каждом трубопроводе, если этот насос двухпоточный, т.е. заполняется и перекачивает с обоих концов. Это позволяет подавать жидкость попеременно с каждого конца при заполнении с другого конца. Один двухпоточный насос должен обслуживать два инжектора струи жидкости, связанные с конкретным трубопроводом. Каждый конец насоса может иметь два выпускных отверстия, одно из которых ведет к распылительной насадке в одной из камер, связанных с соответствующим трубопроводом, тогда как другое ведет непосредственно к распылительной насадке в другой камере. Таким образом, хотя струю жидкости надо поддерживать почти непрерывно, температура впрыскиваемой жидкости должна изменяться во время цикла в соответствии с тем, была струя пропущена через теплообменник, или нет.

Над распылительными насадками расположены отделители, которые могут содержать гофрированные пластины, а также играют важную роль в процессе теплопередачи между струей жидкости и рабочим газом, поскольку гофрированные поверхности должны охлаждаться или нагреваться вследствие контакта с жидкостью струи и будут образовывать зону контакта между рабочим газом и жидкостью. Когда газ протекает в конкретной камере вверх, большинство капель, впрыснутых в это время, будут переноситься вверх, в отделитель. Тем не менее, и в нижнем пространстве с газом останется много капель, которые были впрыснуты ранее. Когда газ протекает вниз, большая часть жидкости, которая выделилась на гофрированных пластинах, будет продута вниз в камеру. В этом случае можно ожидать, что отделители повторно соберут сброшенную после этого жидкость, находящуюся между ними. Кроме этого или вместо этого, отделители могут быть выполнены так, чтобы заставлять рабочий газ завихряться с целью облегчения удаления капель жидкости, и, в то же время, минимизировать потери давления в потоке газа.

Назначение регенераторов заключается в том, чтобы изменять температуру рабочего газа от температуры, соответствующей горячему газу, до температуры, соответствующей холодному газу, и наоборот, термодинамически эффективным образом. Регенератор может содержать матрицу узких каналов различной геометрии поперечного сечения, предназначенных для образований большой площади теплопередачи между газом и материалом регенератора. Узкие каналы могут быть образованы с помощью, например, пластин или труб. Регенератор сохраняет тепло рабочего газа до тех

пор, пока рабочий газ не изменит направление своего протекания на противоположное, после чего тепло возвращается рабочему газу. Регенератор также должен быть таким, чтобы минимизировать падение давления по его длине.

Выбор рабочего газа и жидкости для теплопередачи в жидкостных поршнях зависит от конкретного приложения и диапазона температур, в котором должен работать двигатель. Поскольку двигатель работает в замкнутом цикле, а жидкостные поршни образуют совершенное уплотнение, выбор рабочего газа не обязательно ограничивается его наличием в продаже или стоимостью, и его можно выбирать, исходя из термодинамических свойств. Таким образом, рабочим газом может быть, например, гелий или водород, которые имеют превосходные характеристики теплопередачи. По соображениям безопасности гелию можно отдать предпочтение перед водородом, хотя он и дороже. Другое преимущество двигателя с замкнутым циклом состоит в том, что рабочие давления рабочего газа относительно высоки и должны, как правило, находиться в диапазоне 1–20 МПа (10–200 бар).

При рабочих температурах примерно до 200°C можно использовать воду в качестве передающей тепло жидкости. Тем не менее, при более высоких температурах вода, вероятно, уже будет не пригодна, поскольку понадобятся высокие давления для поддержания ее в жидком состоянии. Для рабочих температур примерно до 400°C можно использовать промышленно выпускаемые теплопередающие текучие среды, которые также являются жидкими при низких температурах. Вероятно, что и в этом диапазоне более высоких температур можно выбирать гелий в качестве рабочего газа. Для рабочих температур выше 400°C можно использовать такой жидкий металл, как калий-натриевая эвтектическая смесь (NaK) с гелием в качестве рабочего газа. Эвтектическая NaK смесь остается жидкой вплоть до температуры –12°C и кипит при температуре 785°C (при атмосферном давлении). В качестве альтернативы жидким металлам при высоких температурах возможны плавленные соли. Однако, ввиду вероятных инженерных трудностей при проектировании двигателя, пригодного для эксплуатации с высокотемпературными жидкостями при температурах свыше 400°C, может быть, лучше совсем не использовать горячую жидкость. Вместо этого, тепло можно передавать в двигатель через стенки теплообменника, позволяющего осуществлять привод двигателя от источников гораздо более высокой температуры, включая сгорание топлива. Этим топливом может быть тяжелая нефть, уголь, биомасса или бытовые отходы, поскольку продукты сгорания не попадают в двигатель. Таким образом, варианты теплового двигателя, в которых применяется впрыскивание горячей жидкости, очень подходят для выработки энергии от относительно низкотемпературных источников тепла, таких, как тепло промышленных отходов или солнечная энергия.

Двигатель с замкнутым циклом можно модифицировать, чтобы он работал в качестве теплового насоса, в котором механическая энергия используется для перекачки тепла от низкотемпера-

турного источника к высокотемпературному теплоотводу. Так, в противоположность тепловому двигателю, сжатие рабочего газа происходит, когда он горячий, а расширение – когда рабочий газ холодный. Один из вариантов исполнения теплового насоса можно описать со ссылками на фиг. 1. В этом варианте механическая энергия привода теплового насоса прикладывается к твердотельным поршням 49 и 51 через ведущие валы 53 и 55. В отличие от теплового двигателя, жидкостной поршень в камере сжатия опережает поршень в соответствующей камере расширения на заданный угол сдвига фаз, например, – на 90°, а не наоборот, как было ранее. Обращаясь к фиг. 1, отмечаем, что струи жидкости 29 и 31 в камерах 9 и 11 используются для передачи тепла в тепловой насос от низкотемпературного источника тепла. Холодную жидкость впрыскивают в камеры 9 и 11 при расширении рабочего газа в камерах, которое производится жидкостными поршнями. При расширении тепло от струи передается рабочему газу, и процесс расширения может быть приблизительно изотермическим. После выделения тепла из капель в струе жидкости, уже охлажденные капли рекомбинируют с жидкостью в жидкостном поршне, температура которого в результате будет уменьшаться. Холодную жидкость из жидкостного поршня пропускают через подходящий теплообменник (не показан), в котором тепло передается жидкости из источника тепла. Источником тепла для холодной жидкости может быть атмосферный воздух, земля, река, пар, или иной водный объект. Другая возможность заключается в том, чтобы использовать в качестве тепла выделенный из вентиляционной системы отработанный воздух. Вместо этого можно использовать теплую сточную воду из ванн и т.д. Такое функционирование противоположно функционированию теплообменника в тепловом двигателе, где теплообменник передает тепло от жидкости низкотемпературному теплоотводу.

Струи жидкости 33 и 35 в камерах 17 и 19 распыляют горячую жидкость в камеры при сжатии рабочего газа, что осуществляется жидкостным поршнем. Струя горячей жидкости служит в качестве теплоотвода в рабочий газ, поглощающий тепло, генерируемое при работе сжатия. После сжатия уже нагретые капли жидкости в струе рекомбинируют с жидкостным поршнем, температура которого таким образом возрастает. Горячую жидкость из жидкостного поршня пропускают в подходящий теплообменник (не показан), в котором тепло от жидкости передается на место использования. Такое функционирование противоположно функционированию теплообменника в тепловом двигателе, где теплообменник передает тепло от горячего источника жидкости. Тепло можно, например, подводить в систему горячего водоснабжения, аналогичную тем, которые используются во многих жилых домах. Вместо этого тепло можно подводить к канальной системе водоснабжения.

Цикл теплового насоса применительно к одной из холодных камер 9 и связанной с ней горячей камере 19 протекает следующим образом, начинаясь с положения жидкостного поршня в каме-

ре 19 в верхней точке его хода и со смены им направления движения на противоположное.

Когда жидкостной поршень достигает верхней точки своего хода в горячей камере 19, жидкостной поршень в холодной камере 9 достигает средней точки своего хода и движется из холодной камеры 9. При продолжении движения жидкостного поршня из камеры 9 холодный газ расширяется и, в то же время, холодная жидкость впрыскивается в холодную камеру посредством струи 29. Рабочий газ в камере 9 поглощает тепло от струи жидкости и расширяется приблизительно изотермически. Когда жидкостной поршень в холодной камере 9 достигает нижней точки своего хода и меняет направление движения на противоположное, жидкостной поршень в горячей камере 19 достигает средней точки своего хода и движется из этой камеры. Когда жидкостной поршень в камере 9 движется в камеру, холодный рабочий газ увлекается из этой камеры, проходит через регенератор, в котором он подогревается теплом от рабочего газа, который вышел из горячей камеры в конце предыдущего цикла, и попадает в горячую камеру 19. Когда жидкостной поршень в камере 19 достигает нижней точки своего хода, и меняет направление движения на обратное, горячая жидкость впрыскивается в камеру 19 через распылительную насадку 35. В этот момент жидкостной поршень в камере 9 достигает средней точки своего цикла, а большая часть рабочего газа находится в горячей камере 19. Жидкостной поршень в камере 19 движется вверх в эту камеру и сжимает рабочий газ. Тепло сжатия передается каплям жидкости в горячей струе, и процесс сжатия может быть приблизительно изотермическим. Когда жидкостной поршень в камере 19 достигает средней точки своего хода, жидкостной поршень в холодной камере 9 достигает верхней точки своего хода и изменяет направление движения на обратное.

При продолжении движения жидкостного поршня в камеру 19 рабочий газ увлекается из этой камеры и проходит через регенератор 25, которому он отдает свое тепло. Холодный газ, выходящий из регенератора, возвращается в холодную камеру, где цикл начинается снова.

Когда поршень в холодной камере 9 движется в камеру и увлекает газ наружу, давление газа увеличивается, приводя к увеличению температуры газа. Когда газ сжимается, можно распылять жидкость в холодную камеру, чтобы предотвратить слишком сильный нагрев газа и, предпочтительно, поддерживать температуру газа постоянной. Если используют жидкостной поршень, жидкость для струи можно предпочтительно отводить непосредственно из жидкостного поршня. Точно так же, когда поршень в горячей камере движется в направлении из камеры, нагнетая в нее газ, давление газа падает, приводя к понижению температуры газа. Чтобы предотвратить это, можно впрыскивать жидкость в горячую камеру, когда газ расширяется, чтобы таким образом поддерживать температуру газа постоянной. Если используют жидкостной поршень, жидкость для струи можно отводить непосредственно из жидкостного поршня.

Как и в случае теплового двигателя, можно использовать два седлообразных контура, и меж-

ду ними будет сдвиг по фазе на 90° . Предпочтительно рабочий газ является газом, который не проходит через фазовое превращение (т.е. конденсацию или испарение) в диапазоне рабочих температур и давлений, используемых в тепловом насосе. Рабочим газом может, например, быть гелий или водород, как и в случае теплового двигателя. Теплопередающей жидкостью может быть вода, а в зависимости от источника холода может потребоваться добавка антифриза. Если в качестве источника тепла используют воздух, то может потребоваться регулярное размораживание теплообменника источника тепла.

Тепловой насос можно использовать, например, для бытовых или промышленных приложений с целью кондиционирования воздуха, охлаждения, обогрева пространства или нагрева воды. Эффективность теплового насоса обычно выражают через тепловой коэффициент, (ТК), который представляет собой коэффициент преобразования электричества в тепло. ТК также зависит от температур источника тепла и требуемого подвода теплоты. Для нагрева воды с целью обогрева пространства и для других бытовых приложений тепловой насос должен быть в состоянии обеспечить ТК около 3. Тепловой насос, цикл которого описан выше, предположительно может достичь ТК около 3,5 в бытовых приложениях, когда источник тепла имеет температуру несколько выше температур замерзания. Достижимым должен быть ТК около 4 – при увеличении температур источников тепла за счет использования панелей солнечных батарей или за счет восстановления тепла от воды бытовых стоков. Вместо этого тепловой насос, соответствующий описанному выше, можно было бы использовать для отбора тепла из атмосферы при температуре около температуры замерзания, чтобы обеспечить снабжение канальным теплым воздухом для обогрева пространства при ТК около 4. ТК можно повысить и до величины более 4, если восстановить некоторое тепло сточных вод, отработанного вентиляционного воздуха или солнечного обогрева.

Возвращаясь к тепловому двигателю, отметим другой вариант осуществления, основанный на сжигании топлива с целью дополнительного нагрева рабочего газа. Горючее топливо впрыскивается в камеру расширения, оно смешивается с горячим сжатым газом и воспламеняется. Топливо предпочтительно является чистым топливом, таким, как газ или легкое дистиллятное топливо. Вариант теплового двигателя в таком исполнении схематически изображен на фиг. 2. Многие признаки варианта осуществления, изображенного на фиг. 2, аналогичны признакам варианта осуществления, изображенного на фиг. 1, и одинаковые признаки обозначены одинаковыми цифровыми позициями.

Обращаясь к фиг. 2, отмечаем, что тепловой двигатель содержит пару U-образных трубопроводов 1 и 3, каждый из которых частично заполнен жидкостью, каждая из которых служит жидкостным поршнем. Камеры сжатия 9 и 11 образованы в плечах 13 и 15 одного из трубопроводов 1, а камеры сгорания 17 и 19 образованы в плечах 21 и 23 другого трубопровода 2. Одна из камер сжатия 11 приспособлена к сообщению с одной из камер сго-

рания 17 через теплообменник, который предпочтительно является регенератор 27, а другая камера сжатия 9 приспособлена к сообщению с другой камерой сгорания 19 через другой теплообменник 25, который тоже может быть регенератором. Камеры сжатия 9 и 11 оснащены клапанами впуска газа, чтобы обеспечить проникновение воздуха или другого окисляющего газа в камеры, и они могут, например, быть обратными клапанами. Каждая камера сжатия 9 и 11 имеет инжектор струи жидкости 29 и 31, а жидкость, используемую в струе, отводят из жидкостного поршня, как и прежде. Другой клапан 61, 63 установлен между камерой сжатия 9, 11 и регенератором 24, 27, чтобы предотвратить возврат выхлопных газов из камеры сгорания 19, 17 через регенератор 25, 27 в камеру сжатия 9, 11. Между клапаном 61, 63 и регенератором 25, 27 предусмотрен выхлопной канал 65, 67, задействуемый с помощью выпускного клапана 69, 71, для обеспечения выброса выхлопных газов после прохождения через регенератор 25, 27 и отдачи ими своего тепла регенератору. В каждой камере сгорания 17, 19 предусмотрен канал для впуска топлива 73, 75, чтобы обеспечить возможность впуска топлива в камеру. Каждый выпускной клапан 69, 71 приводится в действие подходящим механизмом синхронизации (не показан).

Цикл двигателя применительно к одной из камер сжатия и связанной с ней камере сгорания происходит следующим образом. Когда уровень жидкости в камере сжатия 9 падает до отметки, на которой внутреннее давление становится меньше, чем давление на другой стороне обратного клапана 57, впускной клапан 57 открывается и окисляющий газ нагнетается внутрь. Если источником газа является атмосферный воздух, то впускной клапан будет открываться, когда давление в камере сжатия меньше атмосферного. Когда поршень в камере сжатия достигает средней точки своего хода и проходит ее, поршень в камере сгорания 19 достигает нижней точки своего хода и меняет направление движения на обратное. Выпускной клапан 65 открывается и, когда поршень сгорания движется в камеру сгорания, выхлопные газы нагнетаются через регенератор, отдавая свое тепло в процессе прохождения. Обратный клапан 61 предотвращает попадание выхлопных газов в камеру сжатия 9.

Когда поршень в камере сгорания достигает средней точки своего хода и проходит ее, поршень в камере сжатия достигает нижней точки своего хода и изменяет направление движения на обратное. Когда поршень в камере сжатия достигает нижней точки своего хода и начинает подниматься вверх, впускной клапан закрывается, так что впущенный окисляющий газ начинает сжиматься. Струя жидкости поддерживает газ при температуре, близкой к температуре окружающего воздуха, обеспечивая тем самым приблизительно изотермическое сжатие. При сжатии, когда поршень в камере сжатия находится между нижней точкой и средней точкой своего хода, поршень в камере расширения продолжает двигаться в камере расширения 19, увлекая горячие газообразные продукты сгорания через выхлопной канал 65 посредством регенератора 25. Когда давление в камере сжатия превышает давление в камере сгора-

ния, обратный клапан 61, соединяющий эти камеры, открывается, и холодный сжатый газ проходит через регенератор, отбирая тепло, так что он попадает в камеру сгорания при высокой температуре. Поршень в камере сгорания изменяет направление движения на обратное и движется из камеры сгорания, тогда как поршень в камере сжатия достигает верхней точки своего хода. Незадолго до того, как жидкостной поршень достигает верхней точки своего хода в камере сжатия, и незадолго до того, как поршень в камере сгорания достигает средней точки своего хода, в камеру сгорания 19 впрыскивается топливо, которое воспламеняется либо самопроизвольно, либо с помощью растопочного факела, либо с помощью искры зажигания (не показано). В некоторый момент при продолжении движения вниз поршня сжатия из камеры сжатия подача топлива отключается. Скорость впрыска топлива можно регулировать, чтобы обеспечить приблизительно изотермическое расширение. Поршень сжатия затем изменит направление движения на противоположное, втягивая свежую порцию газа в камеру и, когда поршень сгорания достигает нижней точки своего хода, выпускной клапан 65 открывается, и цикл повторяется.

Чтобы снять потребность в маховике, можно предусмотреть два седлообразных контура, скомпонованные так, чтобы между ними при функционировании поддерживался сдвиг по фазе 90° . Для двигателя с замкнутым циклом можно было бы использовать механическую систему привода. Жидкость, образующая жидкостной поршень в трубопроводах, заключающих в себе камеры сгорания и камеры сжатия, может быть маслом, водой или, возможно, иной текучей средой. Жидкости в обоих трубопроводах не обязательно одинаковые. Можно предусмотреть в каждой камере сгорания поплавки 22, 24, содержащие твердый материал, которые плавают на поверхности жидкостного поршня, чтобы ограничить контакт газообразных продуктов сгорания с жидкостью. Можно также предусмотреть некоторые средства охлаждения стенок камеры сгорания.

И двигатель с замкнутым циклом, и двигатель с незамкнутым циклом, описанные выше, совершают полезную работу, которой сопутствуют большие возвратно-поступательные усилия на низкой частоте, например – около 1 Гц. Если эти двигатели предназначены для выработки электроэнергии, то, как правило, приходится предусматривать средство преобразования формы механической энергии, возникающей при малой скорости, в форму, подходящую для привода электрического генератора. Для габаритов новейших блоков с генерирующей мощностью примерно до 1 МВт можно было бы использовать тихоходный коленчатый вал, соединенный с генератором с помощью подходящего редуктора. Вместо этого можно использовать гипоциклический зубчатый механизм или редуктор червячного привода. В случае гипоциклических зубчатых колес ведущий вал двигателя соединяют с планетарным колесом, имеющим зубчатый венец вокруг своей наружной поверхности. Планетарное колесо перекачивается по внутренней поверхности неподвижного колеса, имеющего зубчатый венец на своей внутренней поверхности. Планетарное колесо установлено на

рычаге, который вращается, когда планетарное колесо перекачивается по внутренней поверхности неподвижного колеса. Вращающийся рычаг приводит в движение генератор через посредство повышающего редуктора. Это дает тот же вид движения, что и коленчатый вал, но с тем преимуществом, что не возникают большие боковые нагрузки, которые в противном случае были бы обусловлены наличием коленчатого вала. Можно также сделать гипоциклическую зубчатую передачу, более компактную, чем обычный коленчатый вал. Вместо этого, можно было бы приспособить двигатель к перекачке гидравлической жидкости посредством турбины, соединенной с генератором. Это способ был бы пригоден как для блоков больших размеров, так и для блоков малых размеров.

В другом варианте осуществления жидкостные поршни можно заменить твердотельными поршнями. Хотя возможно использование твердотельных поршней в двигателе с замкнутым циклом, в котором рабочий газ пропускают назад и вперед между камерами расширения и сжатия, возможны трудности при достижении надлежащего уплотнения закупоренного газа, находящегося под высоким давлением, а этим газом вероятно является гелий или водород. Требования к уплотнению менее критично в случае двигателя с незамкнутым циклом, в котором в каждом цикле используется свежая порция воздуха или иного окисляющего газа и, следовательно, для этого случая лучше было бы использовать твердотельные поршни. На фиг. 3 изображен один из вариантов такого исполнения теплового двигателя.

Обращаясь к фиг. 3, отмечаем, что вариант исполнения двигателя в целом обозначен позицией 100 и содержит четыре цилиндра 113, 115, 121 и 123. Для каждого цилиндра предусмотрен поршень, и каждый поршень соединен с коленчатым валом 169 соединительной тягой 171. В этом варианте двигатель ориентирован так, что коленчатый вал расположен выше цилиндров. В двух цилиндрах 113 и 115 образованы камеры сжатия 109 и 111, а в других цилиндрах 121 и 123 образованы камеры расширения 117 и 119. Каждая камера сжатия имеет канал впуска газа 156, 158, регулируемый клапанами впуска газа 157, 159, и канал 173, 175 выпуска сжатого газа. Линия 177, 179 подачи газа соединяет камеру сжатия 109, 111 с соответствующей камерой расширения 119, 117 через канал впуска сжатого газа 181, 183, каждый из которых регулируется клапаном 185, 187 впуска газа в камеру расширения 119, 117. Каждая камера расширения 117, 119 имеет канал 165 выпуска выхлопных газов, регулируемый выпускным клапаном 193, 191. Все каналы впуска и выпуска газа расположены около дна камер расширения и сжатия.

В каждой камере сжатия 109, 111 усмотрена распылительная насадка 129, 131 для впрыскивания струи жидкости в каждую камеру 109, 111 при сжатии. Внутри каждой камеры сжатия 109, 111 установлен отделитель 137, 139 для удаления жидкости из сжатого газа перед тем, как он покинет камеру сжатия. Таким образом, отделитель 137, 139 расположен над выпускным каналом 173, 175 сжатого газа. Можно использовать разные типы отделителей, но при этом важно, чтобы отделитель

был как можно более компактным, не создавая слишком больших перепадов давления в газе, поступающем в камеру, или в сжатом газе, покидающем камеру. Чтобы избежать создания падения давления отделителем падения давления в потоке впускаемого газа, канал впуска газа можно расположить с поршневой стороны отделителя. Чтобы добиться малых потерь давления, можно оснастить отделитель рядом малых завихряющих лопаток, установленных на коротких трубных секциях, смонтированных параллельно. Вносимое завихрение газа вызывает отбрасывание наружу введенных капель жидкости и собирание их на стенках трубок. Отделители с завихряющими лопатками часто используют, например, в парогенераторах и промежуточных пароперегревателях ядерных реакторов с водой под давлением.

Каждый отделитель 137, 139 соединен с внешним устройством охлаждения 197, 199 каналом 201, 203. Поток жидкости от отделителя к устройству охлаждения регулируют клапанами 205 и 207, которые могут быть обратными клапанами. Охлажденная жидкость из устройства охлаждения возвращается в камеру сжатия по каналу 209, 211 и через клапан 129, 131, который может быть обратным. Поток жидкости по этому контуру можно приводить в движение за счет циклического изменения давления в камере сжатия, что вызывает нагнетание жидкости через обратные клапаны в требуемом направлении. Чтобы этот процесс мог происходить, необходимо поддерживать некоторый объем газа над жидкостью в устройстве охлаждения. Это можно сделать за счет использования регулятора уровня, такого, как шаровой клапан, установленного в устройстве охлаждения. К устройству охлаждения можно подвести отдельную линию подачи жидкости, чтобы пополнить жидкость, теряемую в потоке газа в камеру сжатия. Замену жидкости можно также регулировать с помощью регулятора уровня, если он используется.

Вышеописанные отделитель и контур охлаждения предназначены для отделения, рециркуляции и прокачивания охлажденной жидкости в виде мелкодисперсной струи в камеру сжатия без использования внешних насосов. Аналогичную компоновку можно реализовать и в тепловых двигателях, имеющих жидкостные поршни. Для некоторых приложений может быть приемлемым не использование возвратного клапана, стоящего перед инжектором струи, а регулирование впрыскивания с помощью, например, кулачка, который обеспечил бы лучшее регулирование синхронизации струи. Предпочтительно, синхронизацию оптимизируют с учетом разности давлений между устройством охлаждения и камерой сжатия и конечного времени переноса капель внутри камеры. Вместо этого можно использовать внутренние или внешние насосы для привода в движение потока жидкости через инжекторы струи. В этом случае насосы предпочтительно соединены механически со штоками поршней, так что отдельный источник энергоснабжения не нужен. Вероятно, струйные насосы больше подходят для эксплуатации совместно с двигателями или тепловыми насосами, в которых есть жидкостной поршень, потому что у них ниже рабочая скорость. В этих случаях время

переноса капель может быть довольно малым по сравнению с временем завершения одного цикла двигателя.

Каждая камера расширения 119, 117 имеет регенеративный теплообменник 125, 127, смонтированный так, что газ проходит через теплообменник перед тем, как попадает в камеру расширения или покидает ее по впускным и выпускным каналам, соответственно. Каждая камера расширения имеет клапан 174, 176 впрыска топлива, регулируемый подходящим механизмом синхронизации, и свечу зажигания 178 для воспламенения газотопливной смеси, которая будет использоваться для запуска двигателя, или и для запуска двигателя, и непрерывно в процессе работы.

Регенеративный теплообменник может состоять из большого количества параллельных каналов малого диаметра и небольшой длины, объединенных, например, в виде ячеистой конструкции. Рабочие циклы пар камер отстоят друг от друга на 180° . В этом варианте такой сдвиг реализуется с помощью надлежащей конструкции коленчатого вала 169. В каждой паре процесс расширения в камере расширения передает процесс сжатия в камере сжатия на заданный сдвиг по фазе, который в этом конкретном варианте составляет 90° . И вновь сдвиг по фазе определяется надлежащей конструкцией коленчатого вала 169. Таким образом, сжатие имеет место, когда большая часть газа находится в камере сжатия, а расширение имеет место, когда большая часть газа находится в камере расширения. Кроме того, процесс расширения, происходящий в камере расширения одной пары камер, приводит в действие процесс сжатия, происходящий в камере сжатия другой пары.

Рабочий цикл одной пары камер протекает следующим образом, начиная со впуска газа в камеру сжатия. Когда поршень сжатия достигает нижней точки своего хода в камере сжатия (т.е. точки, наиболее удаленной от коленчатого вала 169) канал впуска газа 157 открывается и газ нагнетается в камеру сжатия при движении поршня из камеры сжатия 109. В то же время, канал 181 впуска сжатого газа в камеру расширения закрыт, и топливо впрыскивается в камеру расширения 119, когда поршень расширения достигает средней точки своего хода, двигаясь из камеры расширения. Смесь топлива и газа в камере расширения воспламеняется и газообразные продукты сгорания расширяются, перемещая поршень расширения к верхней точке его хода (т.е. к точке, ближайшей к коленчатому валу 169).

Поршень расширения меняет направление движения на обратное, и выпускной клапан 193 открывается, а выхлопные газы проходят через регенератор 125 и выбрасываются через выпускной канал 189. Нагнетание газа в камеру сжатия продолжается до тех пор, пока поршень сжатия не достигнет верхней точки своего хода, когда клапан 157 впуска газа закрывается. Поршень сжатия меняет направление движения на обратное и движется в камеру сжатия, а в этот момент в камеру впрыскивают холодную жидкость, охлаждающую газ при сжатии.

Когда поршень сжатия достигает средней точки своего хода, поршень расширения достигает

нижней точки своего хода в камере расширения и меняет направление движения на обратное. В этот момент выпускной клапан 191 закрывается, а клапан 185 впуска сжатого воздуха открывается, позволяя холодному сжатому газу из камеры сжатия протекать в камеру расширения. Сжатый газ проходит через регенератор 125, где он подогревается теплом от выхлопных газов.

Когда поршень сжатия в камере сжатия достигает нижней точки своего хода, клапан 181 впуска сжатого газа в камеру расширения 119 закрывается, и в камеру расширения впрыскивается топливо, которое смешивается с подогретым сжатым газом и воспламеняется. Газообразные продукты сгорания расширяются, увлекая поршень расширения к верхней точке его хода, и цикл повторяется. Жидкость, удаленная из сжатого газа перед тем, как он покидает камеру сжатия, принудительно отводит из камеры расширения через клапан 205. Жидкость охлаждают в устройстве охлаждения 197 перед возвратом и впрыскиванием в камеру сжатия.

Другая пара камер проходит через аналогичный цикл, но, как упоминалось выше, рабочие циклы каждой пары отделяют друг от друга 180° . Такой двигатель мог бы работать удовлетворительно, если бы движение в течение всего цикла поддерживалось маховиком. Тем не менее, двигатель может содержать два комплекта из четырех цилиндров, соединенных одним коленчатым валом, при сдвиге по фазе циклов каждого комплекта из четырех цилиндров на 90° . Это позволило бы осуществлять привод на всех этапах цикла, а в результате этого отпала бы необходимость маховика для достижения непрерывного функционирования.

Кроме того, можно также разработать двигатель, содержащий одну камеру сжатия и одну камеру расширения, в случае, если предусмотрены некоторые средства поддержания функционирования двигателя в течение всего цикла между тактами расширения или сжатия.

Ориентация двигателя с твердотельными поршнями может быть такой, как показано на фиг. 3, с коленчатым валом, расположенным над цилиндрами. Это дает то преимущество, что отделение и удалению капель жидкости из цилиндра способствует сила тяжести. С другой стороны, возможно, что будет не так просто обеспечить смазку коленчатого вала и что у этой компоновки могут быть другие практические недостатки. Альтернативный вариант заключается в том, чтобы поместить коленчатый вал под цилиндрами и предусмотреть поршень для выталкивания отработанной впрыснутой жидкости через клапан, ведущий в цилиндр расширения. Кроме того, следует предусмотреть средство отделения жидкости в трубе, ведущей в камеру расширения. Альтернативный способ отделения для конфигурации с коленчатым валом под цилиндрами заключается в наличии поршня для выталкивания жидкости через внутренний слив в верхней части цилиндра. Тогда жидкость можно было бы сливать под воздействием силы тяжести.

Притягательность использования твердотельных поршней вместо жидкостных поршней заключается в том, что это дало бы возможность экс-

плуатировать двигатель на более высоких скоростях. Это обуславливает более высокую отдаваемую мощность для заданного типоразмера блока, так что этот двигатель был бы пригоден для подвижных приложений, например, в судах и автомобилях, помимо статических приложений, связанных с выработкой электроэнергии. Уплотнение поршней в данном случае будет не такое хорошее, как при использовании жидкостных поршней, но уплотнение в двигателе с незамкнутым циклом не так важно, как в двигателе с замкнутым циклом. Можно также разработать двигатель, содержащий и жидкостные, и твердотельные поршни, например – с жидкостными поршнями в камерах сжатия и твердотельными поршнями в камерах сгорания.

На фиг. 4 изображен другой вариант осуществления теплового двигателя, который аналогичен тому, что показан на фиг. 3, но модифицирован в целом ряде направлений для повышения работоспособности, включая более высокий КПД и гораздо более высокую производительность, выражаемую в терминах рабочих скоростей.

Тепловой двигатель, изображенный на фиг. 4, содержит пару цилиндров сжатия 113, 115, каждый из которых имеет связанное с ним устройство охлаждения и рециркуляции распыленной жидкости, а также пару цилиндров 121, 123 расширения или сгорания, причем описание этих составных частей конструкции, приведенное выше применительно к фиг. 3, применимо и к соответствующим составным частям конструкции, изображенным на фиг. 4, и одинаковые составные части конструкции обозначены одинаковыми цифровыми позициями. Теперь будут описаны изменения в тепловом двигателе, которые вносят вклад в улучшение работоспособности варианта осуществления, изображенного на фиг. 4.

Отделители влаги 137 и 139 изъят из внутренней части камер сжатия 109 и 111 и, вместо этого, помещены снаружи камер сжатия и подсоединены в линиях 177, 179 подачи сжатого воздуха между каналами 173, 175 выпуска сжатого газа из камер сжатия и каналами 165, 167 впуска горячего сжатого газа в камеры расширения 119 и 117. Помещение отделителей влаги снаружи камер сжатия исключает мертвую зону внутри этих камер, которая образовалась бы в противном случае при сжатии и вносила бы свой вклад в снижение коэффициента сжатия. Клапаны 204 и 206 выпуска сжатого газа введены дополнительно, чтобы изолировать камеры сжатия 109 и 111 от объема, заключенного внутри внешнего трубопровода, идущего от каналов 173, 175 выпуска сжатого газа камер сжатия к впускным каналам камер расширения. И введение выпускных клапанов 204 и 206, и изъятие отделителей влаги изнутри камер сжатия позволяет достичь гораздо более высоких коэффициентов сжатия.

Регенеративные теплообменники 125 и 127, заключенные в камерах расширения в варианте осуществления, изображенном на фиг. 3, заменены рекуперативными теплообменниками 244 и 246, которые установлены внутри камер расширения в варианте, изображенном на фиг. 4. И снова это значительно уменьшает мертвую зону выхлопных газов, оставшихся от предыдущего цикла и задержанных внутри регенеративных теплообменни-

ков, уменьшая тем самым температуру газа. Таким образом, можно достичь гораздо более высоких температур в камере расширения.

Каждый из рекуперативных теплообменников 244 и 246 подсоединен в соответствующей линии 177, 179 между соответствующим отделителем влаги 137, 139 и каналом 181, 183 впуска горячего сжатого газа соответствующей камеры расширения, и предназначены для подогрева холодного сжатого газа из камер сжатия выхлопными газами, покидающими камеры расширения через выпускные каналы 165, 167. Увеличенный коэффициент сжатия, получаемый с помощью двигателя, изображенного на фиг. 4, означает, что отношение абсолютных температур до и после расширения также увеличивается. Температура после расширения, вероятно, одинакова для обоих двигателей, изображенных на фиг. 3 и фиг. 4, поскольку это определяется материалом теплообменника. Поэтому пиковая температура двигателя, изображенного на фиг. 4, будет выше и средняя температура дополнительного теплоподвода при расширении тоже будет выше. Вышеупомянутые улучшения позволяют достичь как более высоких разностей давлений, так и более высоких температур в течение цикла, при этом отвод тепла будет происходить при наиболее низкой температуре за цикл, а подвод тепла – при наиболее высокой температуре, что приводит к увеличению отдаваемой выходной мощности.

Другие изменения были внесены в вариант осуществления, изображенный на фиг. 4, чтобы восстанавливать отходящие или избыточное тепло в различных частях цикла и преобразовывать это тепло в полезную мощность, чтобы увеличить КПД двигателя. В частности, каждый из цилиндров сгорания 123, 121 окружен рубашкой охлаждения 212, 214 для восстановления тепла, проводимого стенками камеры сгорания. Обводная линия 209, 210 подсоединена в линию 177, 179 подачи сжатого газа между отделителем влаги 137, 139 и рекуперативным теплообменником 244, 246 для подачи холодного сжатого воздуха из камеры сжатия 109, 111 в рубашку охлаждения 212, 214. Обводная линия 208, 210 подсоединена около дна рубашки охлаждения 212, 214, где температура стенок камеры сгорания наименьшая. Пара цилиндров расширения 220, 222 оснащены связанными с ними поршнями 224, 226, которые также соединены с коленчатым валом 169 посредством соединительных тяг 171. Каждая камера расширения имеет канал 216, 218 впуска газа, регулируемый впускным клапаном 232, 234, и канал 236, 238 выпуска газа, регулируемый выпускным клапаном 240, 242. Впускной канал 216, 218 соединен с точкой вблизи вершины рубашки охлаждения 212, 214, самая верхняя часть которой окружает выпускной канал и простирается на сторону нагрева рекуперативного теплообменника 244, 246, где ожидаются наибольшие температуры.

Таким образом, тепло, потерянное на стенках в верхней части камеры сгорания, восстанавливается и преобразуется в полезную работу посредством направления части холодного сжатого газа из камер сжатия к стенкам камеры сгорания. Сжатый воздух гораздо более эффективен в качестве охлаждающей среды, чем воздух при ат-

мосферном давлении. Холодный сжатый воздух попадает в рубашку охлаждения вблизи ее дна, чтобы сначала охладить стенки камеры сгорания, потому что стенки камеры сгорания должны поддерживаться при более низкой температуре, которая определяется смазочным маслом. Сжатый газ выталкивается вверх в рубашку охлаждения к вершине камеры сгорания, поглощая тепло и постепенно увеличивая свою температуру. Немного нагретый в течение этого процесса охлаждения сжатый воздух после этого используется для охлаждения более горячих частей системы, таких, как головка цилиндра и клапаны. И наконец, горячий сжатый воздух толчками выделяется из системы охлаждения за счет открытия впускного клапана в камеру расширения, где он расширяется, приводя в движение соответствующий поршень, перемещая его из камеры и производя тем самым дополнительную механическую работу.

Ввиду того, что на практике теплоемкость выхлопных газов, покидающих камеры сгорания, будет, как правило больше, чем у сжатого газа из камер сжатия, в выхлопных газах будет больше тепла, чем нужно для подогрева холодного газа в рекуперативных теплообменниках. Этот избыток тепла можно тоже восстановить, сжимая больше газа, чем нужно для сгорания, направляя этот газ через рекуперативные теплообменники, в которых он подогревается за счет избытка тепла от выхлопных газов, а затем – направляя этот подогретый сжатый газ в одну или несколько камер расширения.

Преимущество этой модификации заключается в снижении конечной температуры выхлопных газов и в увеличении КПД топлива двигателя.

Можно также использовать одну или несколько камер расширения для восстановления отходящего или избыточного тепла от различных частей двигателя в любом другом описанном здесь варианте его осуществления.

Вариант теплового двигателя, изображенный на фиг. 4, по существу симметричен относительно вертикальной центральной линии А, и правая половина двигателя является зеркальным изображением его левой половины. В этом конкретном варианте три поршня слева от центральной линии А сдвинуты по фазе на 180° относительно трех поршней справа от центральной линии, и поэтому они, предположительно, будут создавать наиболее равномерно распределенный на коленчатом валу 169 крутящий момент. Кроме того, поршни камеры сгорания в каждой половине двигателя скомпонованы так, что, через посредство коленчатого вала, опережают соответствующей поршни камеры сжатия примерно на 90° . Это обеспечит большой крутящий момент на коленчатом валу тогда, когда потребуются достичь высокого давления в камере сжатия. Эта компоновка также имеет то возможное преимущество, что сжатый воздух втягивается в камеру сгорания из линии подачи и от теплообменника до того, как этот газ снова пополняется за счет открытия впускного клапана из камеры сжатия.

Теперь будет описан полный рабочий цикл теплового двигателя, изображенного на фиг. 4, со ссылками только на три цилиндра, расположенные слева от центральной линии, поскольку рабо-

та правой стороны двигателя по существу идентична, но сдвинута по фазе на 180° . В этом примере в качестве охлаждающего газа для сгорания используется воздух, хотя это и не обязательно должно быть так.

Когда поршень 112 в камере сжатия 109 достигает верхней точки своего хода и начинает менять направление своего движения на обратное, клапан 204 выпуска сжатого газа закрывается, а впускной клапан 157 открывается, и атмосферный воздух втягивается в камеру сжатия через канал 156 впуска воздуха. В тот момент, когда поршень сжатия 112 достигает верхней точки своего хода, поршень 122 в камере сгорания и поршень 224 в камере расширения находятся в средних точках своих ходов и движутся вниз. В этот момент камера сгорания содержит сжатые горячие газообразные продукты сгорания, которые расширяются и выталкивают поршень из камеры. Точно так же, камера расширения 228 содержит горячий сжатый воздух, который тоже расширяется и выталкивает поршень расширения 224 из камеры. Впускные клапаны и в камере сгорания, и в камере расширения закрыты, и впускные клапаны тоже могут быть закрыты.

Когда поршень сжатия 112 достигает средней точки своего хода, поршни сгорания и расширения достигают нижней точки своих ходов и меняют направление движения на обратное. В этот момент клапан 191 выпуска выхлопных газов в камере сгорания и клапан 240 выпуска газа в камере расширения открыты. Когда поршни движутся внутрь своих соответствующих камер, выхлопные газы выбрасываются из камеры сгорания через выпускной канал 165 и проходят через теплообменник 244 и выходят в атмосферу. Точно так же, расширившийся газ выталкивается из камеры расширения через канал 236 выпуска газа.

При желании, можно добиться снижения содержания оксидов азота в выхлопных газах путем впрыскивания аммиака перед теплообменником или непосредственно в теплообменник и/или введения каталитической поверхности внутри самого теплообменника.

Когда поршни 122, 224 в камерах сгорания и расширения достигают средней точки своего хода вверх, поршень сжатия 112 достигает нижней точки своего хода и меняет направление движения на обратное. В этот момент клапан 157 впуска воздуха закрывается, и струя холодной жидкости впрыскивается в камеру сжатия 109 через клапан 129 впрыска струи, так что воздух в камере сжатия сжимается приблизительно изотермически.

Когда поршни сгорания и расширения достигают верхней точки своего хода, их соответствующие выпускные клапаны 191, 240 оба закрыты, а соответствующие клапаны 185, 232 впуска воздуха открыты, допуская подогретый сжатый воздух в камеры через соответствующие каналы 181, 216 впуска воздуха. В заданный момент впускной клапан, подающий подогретый сжатый воздух в камеру сгорания, закрывается и топливо впрыскивается в камеру через клапан 174 впрыска топлива. Для зажигания топлива можно использовать источник зажигания 178, такой, как свеча зажигания, или зажигание может быть самопроизводным, когда топливо смешивается с подогретым сжатым

воздухом. Поршень 122 выталкивается из камеры сгорания 119 давлением горячих газообразных продуктов сгорания, которые до некоторой степени охлаждаются в результате совершения работы над поршнем.

Клапан 232 впуска газа в камеру расширения 228 тоже закрывается в некоторый заданный момент, и воздух расширяется адиабатически, перемещая поршень 224 вниз, из камеры.

Когда поршень 112 в камере сжатия 109 достигает верхней точки своего хода, выпускной клапан 204 сжатого газа открывается, и смесь воздуха и распаленной жидкости исторгается из камеры на отделитель влаги 137, в котором происходит отделение жидкости от воздуха. Отделитель влаги 137 имеет такие размеры, что может не только разделять смесь воздуха и жидкости на составные части, но также может функционировать как резервуар для жидкости и аккумулятор давления для сжатого воздуха.

Жидкость вытекает из отделителя влаги 137 в устройство охлаждения 197, где поглощенное тепло высвобождается в атмосферу или в какой-либо иной теплоотвод. Жидкость из устройства охлаждения 197 затем возвращается к клапану 129 впрыска струи жидкости, который регулирует впрыскивание жидкости при сжатии. Поскольку впрыскивание жидкости обычно происходит, когда давление в камере сжатия ниже своего максимума, то в течение этого времени должно быть возможно достигнуть надлежащего режима впрыскивания. К моменту, когда давление вырастает до величины давления впрыскивания и произойдет отсечка потока впрыскивания, в камере сжатия уже будет достаточное количество капель жидкости. Поэтому поршень 112 камеры сжатия можно считать эффективным средством прокачивания жидкости по контуру охлаждения и через распылительные насадки.

Холодный сжатый воздух протекает от отделителя влаги 137 в рекуперативный теплообменник 244, где он подогревается выхлопными газами из камеры сгорания 119.

Когда поршень 112 в камере сжатия 109 достигает верхней точки своего хода, клапан 204 выпуска сжатого газа закрывается, клапан 157 впуска воздуха открывается, и цикл повторяется.

Фазирование поршней в различных камерах не столь критично, в частности – если двигатель имеет большой маховик для поддержки движения. Тем не менее, желательно, вообще говоря, и не только из-за поддержания надлежащего крутящего момента на коленчатом валу в целях минимизации напряжений, поддерживать движение и минимизировать вибрацию. Фазирование поршней также имеет негативный эффект "дыхания", т.е. потока воздуха из камеры сжатия в камеру сгорания и изменения давления в отделителе влаги и теплообменнике. Хотя сдвиг фаз между поршнями камер сгорания и поршнями камер сжатия составляет около 90° в варианте осуществления, изображенном на фиг. 4, сдвиг по фазе в других вариантах осуществления может и отличаться, но выбор сдвига по фазе – это вопрос тщательной оптимизации в свете практического опыта и измерений.

Хотя вариант осуществления, изображенный на фиг. 4, имеет два отделителя влаги и два

теплообменника, тепловой двигатель может быть укомплектован и меньшим количеством отделителей и/или теплообменников, так, что единственный отделитель и/или теплообменник окажется общим для двух или нескольких цилиндров. Это может дать преимущество уменьшения размеров указанных составных частей конструкции, повышения однородности потока воздуха и возможно, снижения затрат.

Еще один вариант осуществления любого из описанных выше двигателей с незамкнутым циклом включает в себя турбонагнетатель в цикле такой, как те, где часто используются для бензиновых и дизельных двигателей. Турбонагнетатель может состоять из роторного компрессора и роторного расширителя на одном валу. Компрессор повышает давление атмосферного воздуха перед тем, как воздух допускается в камеру изотермического расширения. Компрессор предпочтительно приводится в действие расширителем, который расположен между каналом выпуска выхлопных газов из камеры сгорания и отверстием впуска выхлопных газов и теплообменник. Общее воздействие турбонагнетателя сказывается в росте давления и в камере сжатия, и в камере сгорания, так что двигатель заданного типоразмера отдает большую мощность. Использование турбонагнетателя должно приводить к некоторому понижению эффективности двигателя ввиду более низких КПД роторного компрессора и расширителя и ввиду того, что турбонагнетатель обеспечивает скорее адиабатическое сжатие, чем изотермическое. Тем не менее, ввод турбонагнетателя может сказаться очень привлекательным, так как пониженная эффективность более чем достаточно перекрывается повышением отдаваемой мощности при том же размере двигателя.

Хотя вариант осуществления, изображенный на фиг. 4, отображает коленчатый вал, приводящий в действие генератор 247, вместо этого двигатель можно было бы использовать для привода колес автомобилей колес железнодорожных локомотивов или гребных винтов судов.

В другом варианте осуществления поршни можно соединить вместе и приводить в действие с помощью механической вращающейся системы, иной, нежели коленчатый вал, например – с помощью гипоциклической зубчатой передачи.

В еще одном варианте осуществления может быть выгодно компоновать двигатель так, что процесс сжатия в камерах сжатия будет иметь место при меньшей скорости, чем та, при которой происходит сгорание в камерах сгорания. Другими словами, двигатель можно компоновать так, что в единицу времени будет происходить больше циклов сгорания, чем циклов сжатия. Этого можно достичь, предусмотрев подходящий редуктор между коленчатым валом камеры сжатия и коленчатым валом камеры сгорания. Если двигатель также имеет камеру расширения воздуха для восстановления отходящего или избыточного тепла в различных частях цикла, то можно также компоновать двигатель так, что цикл расширения воздуха будет происходить быстрее, чем цикл изотермического сжатия. Преимуществом такой компоновки должно быть то, что можно всегда поддерживать небольшую скорость процесса сжатия, что-

бы обеспечить достаточно времени для переноса тепла между газом и каплями жидкости, так что процесс сжатия можно всегда сделать по существу изотермическим, а также то, что потери тепла за цикл из камеры сгорания снижаются, обеспечивая более высокую эффективность, и то, что можно повысить отдаваемую выходную мощность двигателя.

В другом варианте, настоящее изобретение можно приспособить к обеспечению охлаждения обычного бензинового, дизельного или газового двигателя с целью восстановления тепла и преобразования его в полезную работу. В основной своей форме, такой вариант осуществления включает в себя камеру сжатия и связанный с ней поршень для сжатия газа изотермически за счет впрыскивания струи жидкости при сжатии, камеру расширения и связанный с ней поршень, соединенный либо с выходным приводом двигателя, либо с каким-нибудь другим приводом, что могло бы дать преимущество дополнительной мощности, и теплообменник для подогрева холодного сжатого газа из камеры изотермического сжатия теплом от двигателя (которое в противном случае терялось бы), и средство подачи подогретого сжатого газа в камеру расширения. Теплообменник может просто состоять из каналов, выполненных в стенках камеры сгорания двигателя, чтобы обеспечить циркуляцию сжатого воздуха перед допуском его в камеру расширения. Камеры изотермического сжатия и расширения могут быть аналогичными тем, которые показаны на фиг. 4, а основное отличие этого варианта осуществления от показанного на фиг. 4, заключается в том, что для восстановления тепла используется весь изотермический сжатый воздух, а не только часть его.

Любой из вышеописанных двигателей можно легко приспособить для эксплуатации в комбинированных тепловых и электроэнергетических системах, если это потребуется. Использование неконденсирующегося газа в качестве рабочего газа дает гораздо большую гибкость при выборе рабочих температур, чем это возможно при цикле с конденсирующимися парами. Систему просто настроить на отдачу тепла при более высокой температуре, чем та, при которой только вырабатывают электроэнергию.

Другая особенность, которую можно использовать для выработки максимального количества тепла при низкой температуре для сушки, обогрева пространства или нагрева воды, заключается в том, чтобы приспособить тепловой двигатель к приводу теплового насоса. Отдаваемое двигателем тепло может дать немного тепла при низкой температуре. Кроме того, механическая выходная мощность двигателя могла бы приводить в действие тепловой насос, который, в свою очередь, мог бы производить больше тепла. Расчеты показали, что двигатель с приводом внутреннего сгорания и незамкнутым циклом должен быть в состоянии производить вдвое больше тепла, чем потребляет в пересчете на теплотворную способность топлива. Дополнительное тепло можно перекачивать из атмосферы, от земли или от крупного водного объекта.

Тепловой насос со впрыском струи как горячей, так и холодной жидкости должен очень приго-

даться для обогрева пространства и нагрева воды и в бытовых, и в промышленных целях. Однако, найдется и место для конструкции теплового насоса, работающего при гораздо более высокой температуре. Преимущество этого конкретного типа теплового насоса состоит в том, что он не привязан так жестко к конкретному диапазону температур, как происходит в случае тепловых насосов, связанных с испарением жидкости и конденсацией паров.

Другие варианты осуществления теплового насоса могут включать в себя клапаны с тем, чтобы работать в незамкнутом цикле аналогично системам, изображенным на фиг. 2, 3 или 4. Однако в этом случае не должно быть сгорания в камере расширения и может ни в какой форме не присутствовать рекуперативный или регенеративный теплообменник или впрыскивание капель в камеру холодного расширения. Например, воздух в камере расширения должен сжиматься изотермически за счет использования поршня и капельной струи, а избыточное тепло должно передаваться в обычный теплоотвод. Эту форму теплового насоса можно использовать в качестве узла кондиционирования воздуха и вентиляции, в котором расширившийся воздух, покидающий систему, значительно холоднее, чем поступающий в нее воздух. Такая система должна быть не очень подходящей для перекачки тепла в здание, поскольку возникает проблема обледенения внутри камеры расширения.

Другие варианты теплового насоса могут быть подобны тем, которые здесь описаны, но без жидкостных поршней. При этом все сжатие и расширение должно осуществляться только с помощью твердотельных поршней. Например, можно иметь жидкостные уплотнения, не имея жидкостных поршней.

Для специалистов в данной области техники очевидно, что существует много альтернативных механических компоновок для преобразования линейного движения поршня во вращение ведущего вала. Там, где используют жидкостной поршень и часть механического привода содержит ведущий или передаточный вал, проходящий сквозь стенку трубопровода, как показано на фиг. 1 и 2, следует предусмотреть уплотнение между стенкой и совершающим возвратно-поступательное движение ведущим валом. Тем не менее, есть и один возможный недостаток такой компоновки, заключающийся в том, что между уплотнением и ведущим валом может возникнуть значительное трение. Альтернативная компоновка, которая, возможно, должна уменьшить трение, включает реечную передачу, смонтированную внутри горизонтального участка трубопровода. Шестерню следует устанавливать с возможностью вращения вокруг ее оси, поперечной направлению движения поршня, а рейку следует надлежащим образом сцепить или соединить с твердотельным(и) поршнем или поршнями. Шестерню можно расположить так, что она будет приводить в движение вращающийся вал, который проходит через стенку трубопровода с помощью уплотнения – для передачи мощности от поршня, причем – снаружи от трубопровода. Твердотельный поршень, связанный с движением жидкостного поршня, следует расположить так,

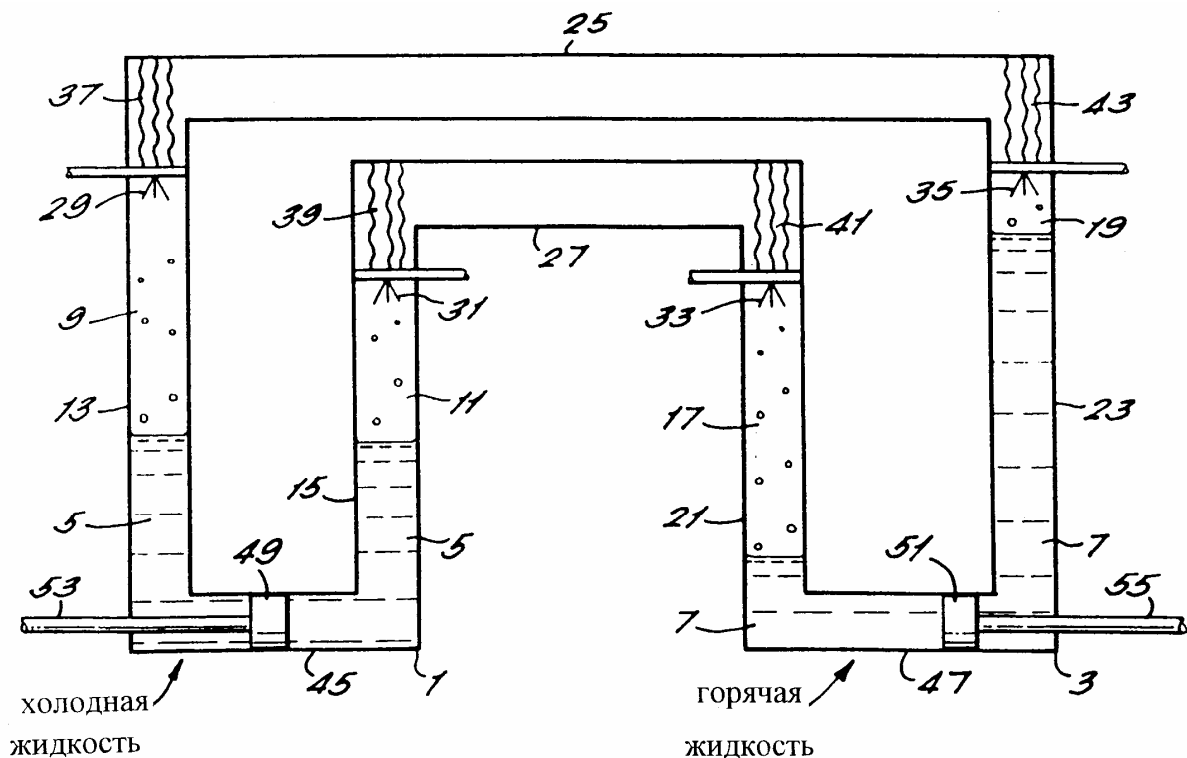
чтобы он мог перемещаться назад и вперед в том или ином плече трубопровода, и можно использовать более одного такого твердотельного поршня в одном трубопроводе.

Вместо этого, можно преобразовывать линейное движение поршня во вращательное движение ведущего вала, устанавливая внутри трубопровода какой-либо тип завихрителя текучей среды, такого, как лопасть винта или лопатка турбины, которая установлена с возможностью вращения на ведущем валу, проходящем по трубопроводу. В этом случае ведущий вал параллелен направлению движения поршня. Там, где используют совершающие возвратно-поступательное движение ведущие валы в двух седлообразных контурах, может быть удобно соединить ведущий вал одного контура сжатия с ведущим валом другого контура расширения. Вместо механической системы можно использовать гидравлическую систему привода. Таким образом, в вышеуказанном

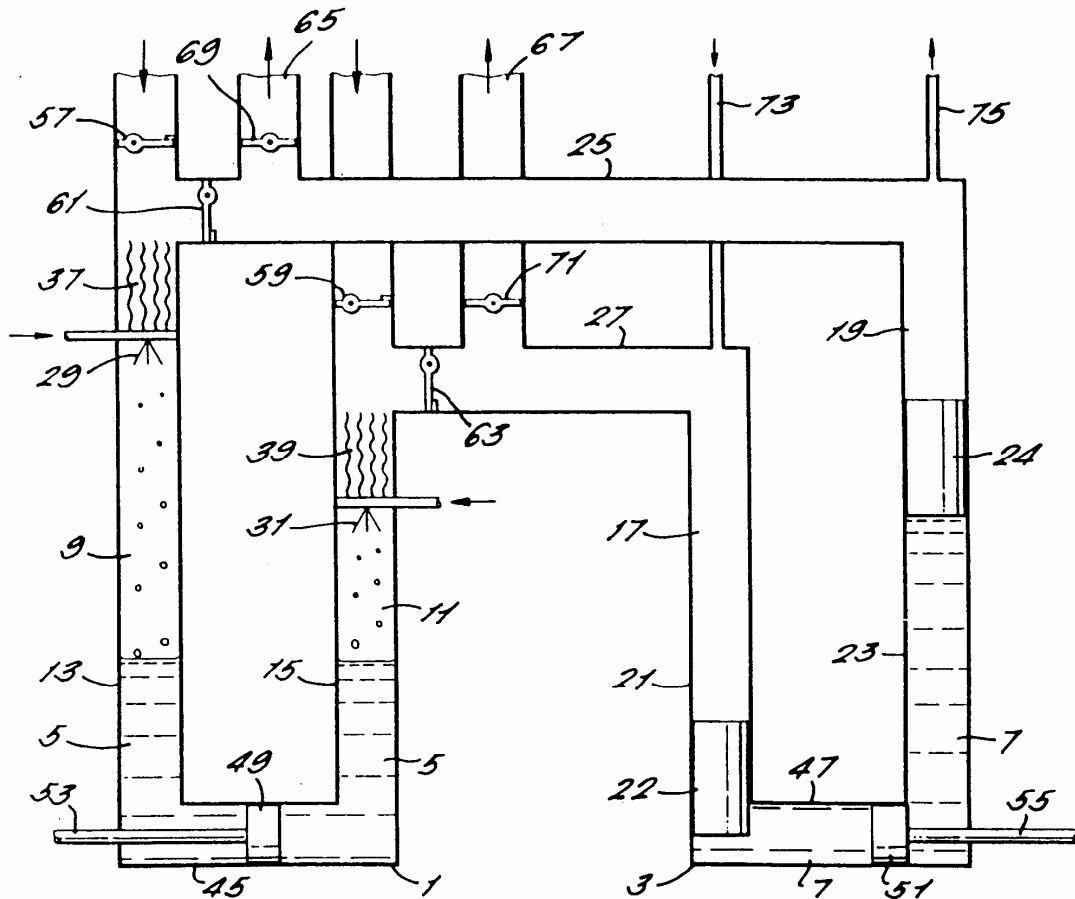
случае каждый комбинированный ведущий вал седлообразного контура должен приводить в движение внешний, совершающий возвратно-поступательное движение поршня во внешнем гидравлическом цилиндре для прокачивания гидравлической жидкости. Заданный сдвиг по фазе (например, -90°) между двумя соединенными ведущими валами можно обеспечить за счет синхронизации открытия клапанов в гидравлических цилиндрах таким образом, чтобы предотвратить чрезмерное отдаление любого из двух валов от его желаемого положения на конкретном этапе цикла.

В двигателях или тепловых насосах, где используются жидкостные поршни, можно установить твердотельные поплавки для плавания на поверхности жидкостных поршней.

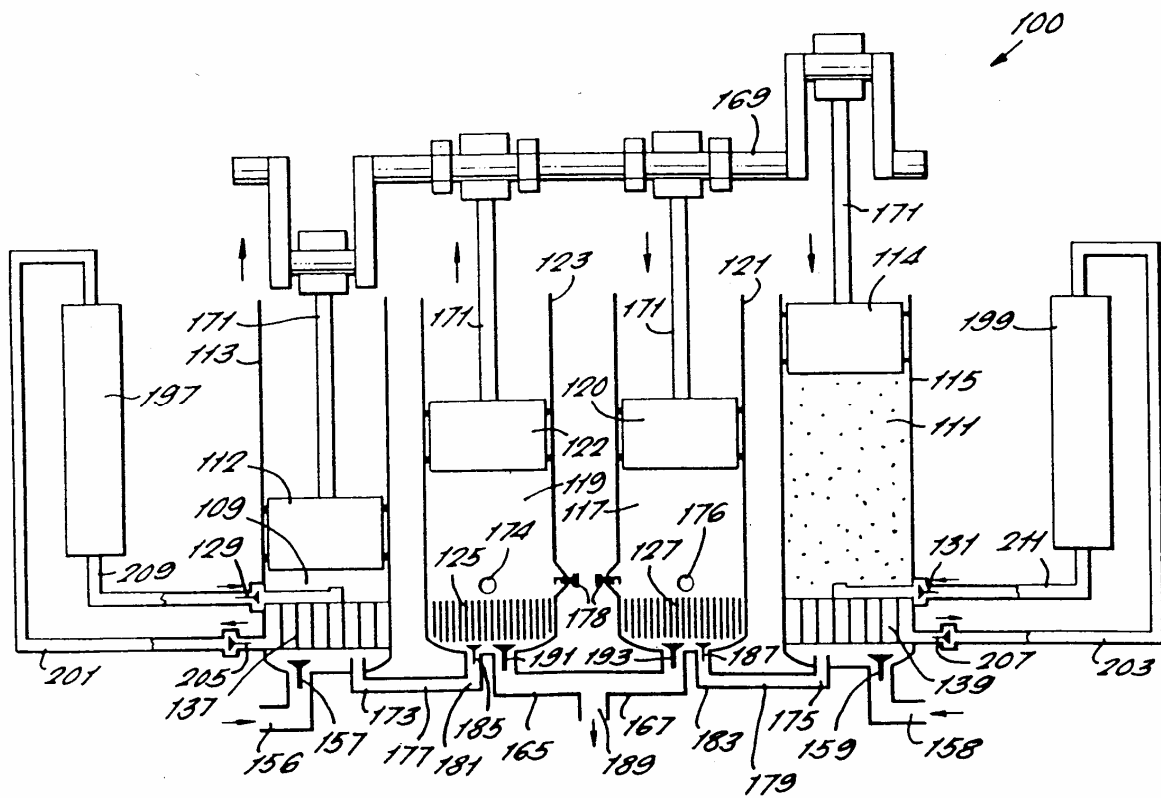
Для специалистов в данной области техники очевидны возможные модификации раскрытых вариантов осуществления изобретения.



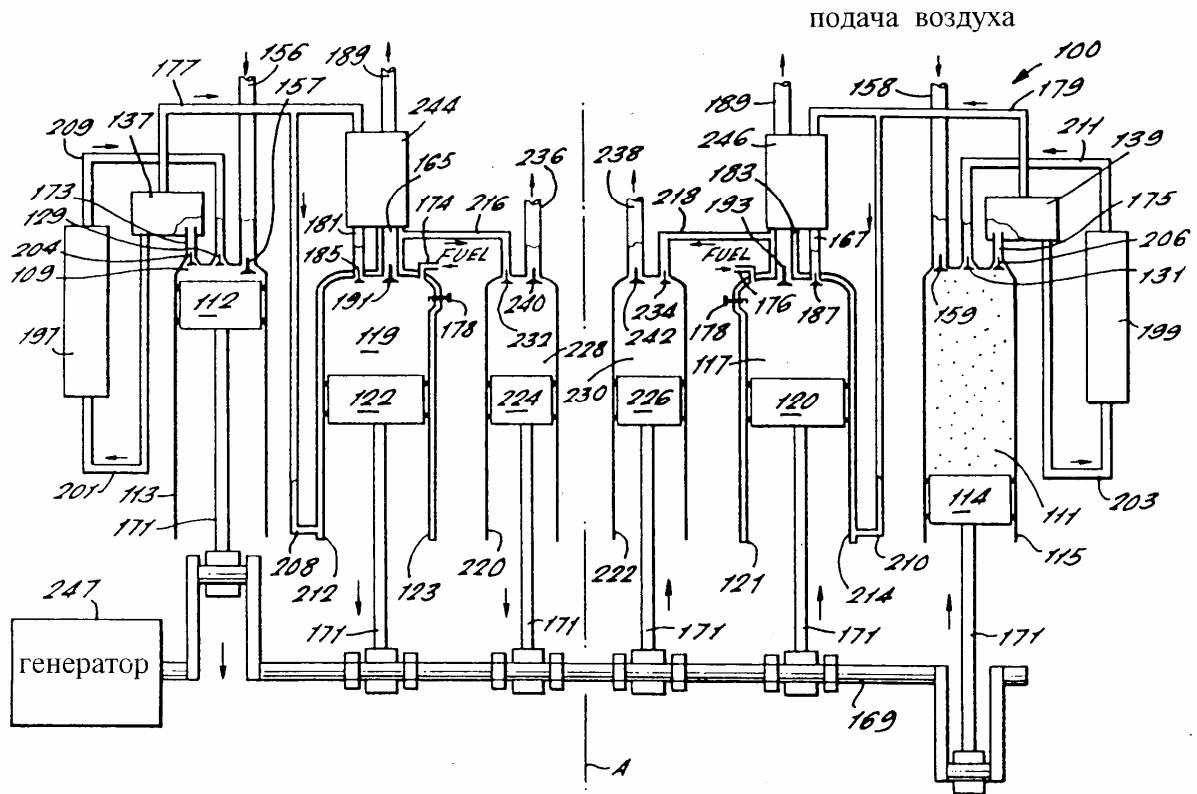
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Тираж 50 экз.

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

