



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

000000  
для служебного пользования экз №

(19) **SU** (11) **1452262** **A1**

(51)4 F 03 G 7/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГИИТ СССР

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4075779/25-06.

(22) 16.06.86

(71) Киевский политехнический институт им. 50-летия Великой Октябрьской социалистической революции

(72) В.А.Ерошенко

(53) 621.499.2 (088.8)

(56) Авторское свидетельство СССР № 1254811, кл. F 03 G 7/00, 1981.

Авторское свидетельство СССР № 1382078, кл. F 03 G 7/00, 1982.

(54) РОТОРНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ  
ЕРОШЕНКО

(57) Изобретение относится к двигателям с внешним подводом тепла и закрытым термодинамическим циклом с использованием гетерогенной термодинамической системы, состоящей из жидкости и капиллярно-пористого тела с лиофобной поверхностью. Цель изобретения - упрочение конструкции, повышение надежности, а также упрощение запуска и управления двигателя. Гидравлический рабочий орган выполнен в виде двух кинематически связанных между собой роторов (Р) 4 и 5 с параллельными осями вращения. Цилиндры 6 и 7 Р вдоль их общей образующей введены во взаимный контакт качения. Подвижные в радиальном направлении лопасти 8 прижаты к цилиндрам на уча-

стке взаимного контакта последних. Рабочая камера 1, заполненная жидкостью и капиллярно-пористым телом 3 с лиофобной поверхностью, герметично разделена на две симметричные емкости (Е) 9 и 10 размещенными в ее середине Р. Лопасти на участках, противоположных участку контакта, введены в скользящий контакт с соответствующими поверхностями 13 и 14 стенок Е 9 и 10, центры кривизны которых совпадают с осями вращения Р, а тело размещено на поверхностях цилиндров и лопастей. Гидропривод-байпас связан с Е 10 через управляемый двухходовый кран, а с Е 9 - через управляемый трехходовый кран. Участок гидропровода между вентилем и трехходовым краном соединен через обратный клапан с источником жидкости высокого давления, а трехходовой кран соединен с резервуаром с запасом жидкости. При таком выполнении транспортировка тела из Е 10 в Е 9 и обратно осуществляется непосредственно Р, на которых тело закреплено, что позволяет отказаться от сложных электромагнитных средств перемещения взвешенных частиц, также уменьшается вероятность попадания взвешенных частиц в трущиеся пары двигателя. 1 з.п. ф-лы, 5 ил.

1  
Изобретение относится к двигателям с внешним подводом тепла и закрытым термодинамическим циклом с использованием гетерогенной термодинамической системы, состоящей из жидкости и капиллярно-пористого тела с лиофобной поверхностью. Изобретение 2-89

2  
может быть использовано при создании гидравлических тепловых двигателей повышенной удельной мощности.

Цель изобретения - упрощение конструкции и повышение надежности, а также упрощение запуска и управления двигателя.

09 SU (11) 1452262 A1

На фиг. 1 представлена конструктивная схема предлагаемого двигателя; на фиг. 2 - один из роторов в увеличенном масштабе; на фиг. 3 - схема управления двигателем; на фиг. 4 - T-S диаграмма термодинамического цикла, реализуемого в двигателе; на фиг. 5 - P-V диаграмма этого цикла.

Роторный тепловой двигатель содержит рабочую камеру 1 прямоугольного сечения, заполненную жидкостью 2 и капиллярно-пористым телом 3 с лиофобной поверхностью, и размещенный в камере 1 рабочий орган в виде двух кинематически связанных между собой роторов 4 и 5 с параллельными осями вращения. Роторы 4 и 5 выполнены в виде цилиндров 6 и 7 соответственно с подвижными в радиальном направлении лопастями 8. Цилиндры 6 и 7 роторов 4 и 5 вдоль общей их образующей введены во взаимный контакт качения. Лопастями 8 роторов 4 и 5 прижаты к цилиндрам 6 и 7 на участке взаимного контакта последних и подпружинены (не показано) для отжатия лопастей 8 от цилиндров 6 и 7 после прохождения участка их взаимного контакта.

Камера 1 разделена на две симметричные емкости 9 и 10 размещенными в ее середине роторами 4 и 5. Емкость 9 низкого давления - горячая - постоянно связана с теплообменником 11 нагревателя, а емкость 10 высокого давления - холодная - постоянно связана с теплообменником 12 холодильника. Лопастями 8 на участках, противоположных участку контакта цилиндров 6 и 7, введены в скользящий контакт с соответствующими поверхностями 13 и 14 стенок емкостей 9 и 10. Центры кривизны поверхностей 13 и 14 совпадают с осями вращения роторов 4 и 5 соответственно. Капиллярно-пористое тело 3 размещено на поверхностях цилиндров 6, 7 и лопастей 8.

Емкости 9 и 10 разделены теплоизолирующей прокладкой 15 и защищены от окружающей среды теплоизоляцией 16. Роторы 4 и 5 кинематически связаны между собой при помощи шестерен 17 и 18, расположенных в торцовой части корпуса 19 двигателя. Вал ротора 5 через маховик 20 и подвижную муфту 21 сцепления связан с муфтой 22, соединенной с нагрузкой (не показана).

Двигатель снабжен также гидропроводом-байпасом 23 (см. фиг. 3), источником 24 жидкости 2 высокого давления и резервуаром 25 с запасом жидкости 2, а также управляемыми двухходовым вентилем 26 и трехходовым краном 27. Гидропровод 23 связан с холодной емкостью 10 через двухходовый вентиль 26, а с горячей емкостью 9 - через трехходовый кран 27. Участок гидропровода 23 между вентилем 26 и краном 27 соединен через обратный клапан 28 с источником 24 жидкости 2 высокого давления. Источник 24 имеет плунжерную пару 29, связанную с подпружиненным рычагом 30 и являющуюся источником вспомогательной гидравлической энергии для запуска двигателя. Кран 27 соединен гидролинией 31 с резервуаром 25, а последний - через обратный клапан 32 - с источником 24. Вентиль 26 и кран 27 связаны с задатчиком 33 режима работы двигателя.

При работе двигателя реализуется термодинамический цикл, диаграммы которого представлены на фиг. 4 и 5. Сущность этого термодинамического цикла заключается в следующем.

В изохорном (изоповерхностном) процессе нагрева (процесс "а-б" на T-S и P-V диаграммах цикла, см. фиг. 4 и 5) к гетерогенной термодинамической системе подводят тепло  $q_{a-b}$  для нагрева системы от температуры  $T_a$  до температуры  $T_b$  (при этом площадь  $\Omega$  межфазной поверхности жидкости 2 и капиллярно-пористого тела 3 имеет минимальное значение  $\Omega_{\min}$  вплоть до "0" ( $\Omega = \Omega_{\min} \approx 0$ )).

$$q_{a-b} = C_v(T_a - T_b), \quad (1)$$

где  $C_v$  - суммарная теплоемкость гетерогенной термодинамической системы.

В рассматриваемом процессе "а-б" в замкнутом объеме  $V_a = \text{const}$  давление  $P$  снижается от значения  $P_a$  до значения  $P_b$ . Гидростатическое давление жидкости 2 определяется капиллярным давлением Лапласа

$$P_a = \frac{2\sigma_a \cos \theta}{r}, \quad (2)$$

где  $\sigma_a$  - поверхностное натяжение жидкости 2 при температуре  $T_a$ ;  $\theta$  - краевой угол смачивания (для лиофобных систем  $\theta \sim 90^\circ$ );

$r$  - радиус пор и капилляров мопористого тела 3.

Поверхностное натяжение  $\delta$  жидкости 2 при неизменном химическом составе зависит только от температуры  $T$

$$\delta = \delta_0 \left(1 - \frac{T}{T_{кр}}\right), \quad (3)$$

где  $\delta_0$  - постоянный коэффициент, имеющий размерность поверхностного натяжения  $\delta$  (гипотетическое значение  $\delta$  при  $T = 0$ );

$T$  - текущее значение температуры;

$T_{кр}$  - критическая температура, при которой  $\delta = 0$ .

Из вышеуказанного следует, что поверхностное натяжение жидкости 2 при нагреве снижается и давление в системе падает ( $P_\delta < P_\alpha$  на  $P$ - $V$  диаграмме, см. фиг. 5).

В изобарно-изотермическом процессе образования межфазной поверхности с площадью  $\Omega_{макс}$  контакта жидкости 2 и твердого тела 3 к системе подводится в большом количестве скрытая теплота  $q_{\delta-5}$  образования поверхности и небольшая работа  $\delta W_{\delta-5}$  по сжатию гетерогенной системы от объема  $V_\alpha$  до объема  $V_r$  при низком давлении  $P_\delta$ .

$$q_{\delta-5} = T_\alpha \frac{d\delta}{dT} \cos \theta \delta_{макс}; \quad (4)$$

$$\delta W_{\delta-5} = P_\alpha (V_r - V_\alpha) = -P_\delta \Delta V, \quad (5)$$

где  $\frac{d\delta}{dT} \cos \theta$  - поверхностная энтропия единицы межфазной поверхности контакта (величина  $\frac{d\delta}{dT}$  - физическая константа для данной жидкости 2);

$\Delta V$  - изменение объема системы, равное объему  $V_n$  открытых пор капиллярно-пористого тела 3.

В изохорном (изоповерхностном) процессе охлаждения гетерогенной системы (процесс "в-г" на  $T$ - $S$  и  $P$ - $V$  диаграммах цикла, см. фиг. 4 и 5) от нее отводится тепло  $q_{в-г} = q_{\alpha-5}$  с понижением температуры от  $T_\delta$  до  $T_\alpha$ .

$$q_{в-г} = C_v (T_\delta - T_\alpha) \quad (6)$$

При этом в замкнутом объеме  $V_r = \text{const}$  при  $\Omega = \Omega_{макс}$  давление возрастает до уровня  $P_\alpha$

$$P_\alpha = \frac{2\delta_0 \cos \theta}{r} \quad (7)$$

из-за возросшего значения  $\delta_\alpha > \delta_\delta$  в соответствии с формулой (3).

В изобарно-изотермическом процессе сокращения межфазной поверхности от значения  $\Omega_{макс}$  ее площади до значения  $\Omega_{мин} = 0$  (процесс "г-а" на  $T$ - $S$  и  $P$ - $V$  диаграммах, см. фиг. 4 и 5) происходит самопроизвольное выталкивание жидкости 2 из пор тела 3 в объеме  $\Delta V = V_n$  при максимальном давлении  $P_\alpha$ . При этом система совершает большую работу  $\delta W_{г-а}$  против внешних сил

$$\delta W_{г-а} = P_\alpha \Delta V \quad (8)$$

при одновременном отводе от системы небольшого количества тепла  $q_{г-а}$  (скрытая теплота сокращения поверхности).

$$q_{г-а} = T_\alpha \frac{d\delta}{dT} \cos \theta \Omega_{макс} \quad (9)$$

При этом термодинамическая система возвращается в исходное состояние (точка "а" на  $T$ - $S$  и  $P$ - $V$  диаграммах, см. фиг. 4 и 5), и затем цикл повторяется.

За цикл в системе оседает тепло в количестве

$$\Delta Q = Q_{\alpha-5-8} - Q_{в-г-а} = (q_{\alpha-5} + q_{\delta-5}) - (q_{в-г} + q_{г-а}) = q_{\delta-5} - q_{г-а} = (T_\delta - T_\alpha) \frac{d\delta}{dT} \cos \theta \Omega_{макс} \quad (10)$$

и за счет этого совершается полезная работа

$$\delta W = \delta W_{г-а} - \delta W_{\delta-5} = (P_\alpha - P_\delta) \Delta V = \frac{2\delta_0 \cos \theta}{r T_{кр}} (T_\delta - T_\alpha) V_n \quad (11)$$

Термический КПД  $\eta$  цикла и предлагаемого теплового двигателя определяется выражением (для цикла без регенерации)

$$\eta = \frac{\Delta Q}{Q_{\alpha-5-8}} = \frac{\eta_k}{1 + \eta_k \frac{C_v}{\Omega_{макс} \cos \theta (d\delta/dT)}}, \quad (12)$$

где  $\eta_k = 1 - \frac{T_\alpha}{T_\delta}$  - термический КПД предельного цикла Карно.

Из выражения (12) следует, что при использовании высокодисперсного

капиллярно-пористого тела 3 (когда  $\Omega_{\max} \rightarrow \infty$ ) термический КПД цикла и предлагаемого теплового двигателя реально приближается к КПД цикла Карно. Реальность достижения КПД цикла Карно вытекает из большого значения удельных поверхностей ( $200-1000 \text{ м}^2$  на 1 г), используемых в качестве капиллярно-пористого тела 3 адсорбентов, применяемых в катализной и химической промышленности (силикагели, алюмосиликаты, активные угли, цеолиты и т.д.).

При регенерации тепла справедливо равенство  $q_{\delta-\gamma} = q_{\alpha-\beta}$  (см. диаграмму на фиг. 4) и тогда условие  $\eta \rightarrow \eta_k$  выполняется без соблюдения требования  $\Omega_{\max} \rightarrow \infty$ .

Тепловой двигатель работает следующим образом.

В горячей емкости 9 низкого давления жидкость 2 легко заполняет объем пор капиллярно-пористого тела 3, находящегося на поверхностях цилиндров 6, 7 и лопастей 8 роторов 4 и 5, в силу низкой величины капиллярного давления  $P_\delta$  Лапласа при высокой температуре  $T_\delta$  (из-за низкого значения поверхностного натяжения  $\epsilon_\delta$  жидкости 2). При вращении роторов 4 и 5 капиллярно-пористое тело 3, заполненное жидкостью 2, переносится в холодную емкость 10, проходя через линию касания роторов 4 и 5. Из-за снижения температуры жидкости 2 до значения  $T_\alpha$  в емкости 10 ее поверхностное натяжение увеличивается до значения  $\epsilon_\alpha$  и соответственно растет капиллярное давление до максимального значения  $P_\alpha$ , под действием которого жидкость 2 выталкивается из порового пространства тела 3 и поступает в емкость 10. Но так как вытесняемый объем  $\Delta V = V_p$  является избыточным для емкости 10, то под действием перепада давления  $\Delta P = P_\alpha - P_\delta$  жидкость 2 в объеме  $\Delta V = V_p$  перетекает в горячую емкость 9 низкого давления, вращая лопасти 8 роторов 4 и 5. При этом вместе с холодной жидкостью 2 с температурой  $T_\alpha$  в емкость 9 поступает и капиллярно-пористое тело 3 с опорожненными порами. Поступивший в емкость 9 объем  $\Delta V$  жидкости 2 является избыточным, поэтому жидкость 2 заполняет пустые поры тела 3, тоже пришедшего сюда из емкости 10, но лишь после нагрева жидкости 2 и тела 3 до

температуры  $T_\delta$ . В силу этого нагнетание жидкости 2 в поровое пространство тела 2 происходит в емкости 9 при низком давлении  $P_\delta$ . При вытеснении жидкости 2 из емкости 10 в емкость 9 происходит поворот роторов 4 и 5 и новые порции капиллярно-пористого тела 3, заполненные жидкостью 2 с температурой  $T_\delta$ , поступают в холодную емкость 10, чтобы после охлаждения до температуры  $T_\alpha$  жидкость 2 могла быть вытеснена из порового пространства тела 3, находящегося в емкости 10, с последующим перетоком жидкости 2 в емкость 9, обуславливая тем самым непрерывное вращение роторов 4 и 5 с лопастями 8. Из этого следует, что процессы нагрева и охлаждения системы "жидкость 2 - капиллярно-пористое тело 3" (процессы "а-б" и "в-г" на T-S и P-V диаграммах цикла, см. фиг. 4 и 5) в предлагаемом двигателе совмещены во времени, как и процессы образования и сокращения площади  $\Omega$  межфазной поверхности (процессы "б-в" и "г-а" на T-S и P-V диаграммах, см. фиг. 4 и 5). Иначе говоря, процесс вытеснения жидкости 2 из порового пространства тела 3 в емкости 10 совпадает по времени с процессом нагнетания жидкости 2 в поровое пространство тела 3, находящегося в емкости 9.

Рассмотрим последовательно режимы работы двигателя.

При подготовке двигателя к работе (см. фиг. 3) трехходовый кран 27 находится в основной позиции 34, показанной сплошной линией (см. фиг. 3), а клапан 26 - в позиции 35, показанной пунктирной линией (см. фиг. 3). После повышения температуры в емкости 9 до значения  $T_\delta$  механически воздействуют рычагом 30 на плунжерную пару 29 и при низком давлении  $P_\delta$  и неподвижных роторах 4 и 5 нагнетают жидкость 2 в поровое пространство тела 3, находящегося в емкости 9. При низком давлении  $P_\delta$  поровое пространство тела 3 в холодной емкости 10 остается незаполненным, так как давление  $P_\delta$  ниже критического значения давления  $P_\alpha$  (капиллярного давления Лапласа), при котором холодная жидкость 2 с температурой  $T_\alpha$  могла бы войти в поры тела 3.

В процессе заполнения пор жидкость 2 поступает в емкость 9 из резервуа-

ра 25. Как только давление в емкостях 9 и 10 при продолжающейся работе плунжерной пары 29 начнет превышать заданное давление  $P_d$ , все поровое пространство тела 3 в емкости 9 заполняется до отказа при незаполненных порах в емкости 10. Факт незначительного превышения давления в емкости 9 относительно величины  $P_d$  свидетельствует о готовности двигателя к запуску.

Для осуществления запуска двигателя вентиль 26 оставляют в прежней позиции 34, а кран 27 переводят в позицию 35, показанную на фиг. 3 пунктирной линией. Подвижную муфту 21 сцепления перемещают вправо, отключая связь двигателя с муфтой 22 нагрузки (см. фиг. 1). После этого механически воздействуют рычагом 30 на плунжерную пару 29. Жидкость 2 из резервуара 25 поступает при этом в емкость 10, воздействует на лопасти 8 роторов 4 и 5, поворачивая их, и перетекает в емкость 9, затем через кран 27 и гидрولينию 31 возвращается в резервуар 25.

При отсутствии нагрузки существенного повышения давления  $P_d$  в системе не требуется, так как начальное вращение роторов 4 и 5 осуществляется при небольшом перепаде давлений между емкостями 10 и 9. Как только начинается вращение роторов 4 и 5, капиллярно-пористое тело 3, заполненное нагретой до температуры  $T_d$  жидкостью 2, поступает из емкости 9 в емкость 10, где его охлаждение до температуры  $T_a$  вызывает вращение роторов 4 и 5 из-за выталкивания охлажденной жидкости 2 из порового пространства тела 3 в емкость 10. Вытесненная жидкость 2, проходя через лопасти 8 роторов 4 и 5, поступает в горячую емкость 9 низкого давления, где при высокой температуре  $T_d$  заполняет свободное поровое пространство тела 3.

Для перевода двигателя в режим самостоятельного вращения роторов 4 и 5 с использованием тепловой энергии надо сразу же после начала движения роторов 4 и 5 за счет энергии источника 24 перевести вентиль 26 и кран 27 в основные позиции, показанные сплошными линиями (см. фиг. 3). Далее муфту 21 сцепления перемещают влево, подключая к двигателю посредством муфты 22 нагрузку. На номиналь-

ном режиме работы двигателя переток жидкости 2 из емкости 10 в емкость 9 происходит только в результате перемещения роторов 4 и 5. Переток жидкости 2 из емкости 10 в емкость 9 через гидروпровод-байпас 23 исключен, как и переток жидкости 2 из емкости 10 в объем плунжерной пары 29 благодаря наличию обратного клапана 28.

Для останова двигателя вентиль 26 переводят в позицию 34, а кран 27 остается в основной позиции, показанной сплошной линией (см. фиг. 3). При этом давление в емкостях 9 и 10 выравнивается благодаря гидропроводу-байпасу 23, и двигатель останавливается.

Для изменения мощности двигателя изменяют интенсивность подвода тепла  $Q_{a-d}$ . Частичного изменения мощности (и скорости вращения роторов 4 и 5) можно достичь более простым путем - организацией частичного перетока жидкости 2 из емкости 10 в емкость 9 через гидропровод-байпас 23 с помощью небольшого дросселирования вентилем 26, т.е. переводом его в позицию 36, показанную пунктирной линией (см. фиг. 3). В этом случае расход жидкости через лопасти 8 роторов 4 и 5 и скорость вращения последних уменьшаются.

Упрощение конструкции и повышение надежности запуска и работы предлагаемого двигателя обеспечивается за счет реализации транспортировки капиллярно-пористого тела 3 из емкости 10 в емкость 9 и обратно непосредственно самими роторами 4 и 5, на которых тело 3 закреплено, и отказа от сложных электромагнитных средств перемещения взвешенных в жидкости капиллярно-пористых частиц, имеющих в известном двигателе. Надежность двигателя в работе повышается также из-за уменьшения вероятности попадания взвешенных частиц капиллярно-пористого тела 3 в трущиеся пары двигателя.

Предлагаемый двигатель работоспособен, прост и надежен в конструкции.

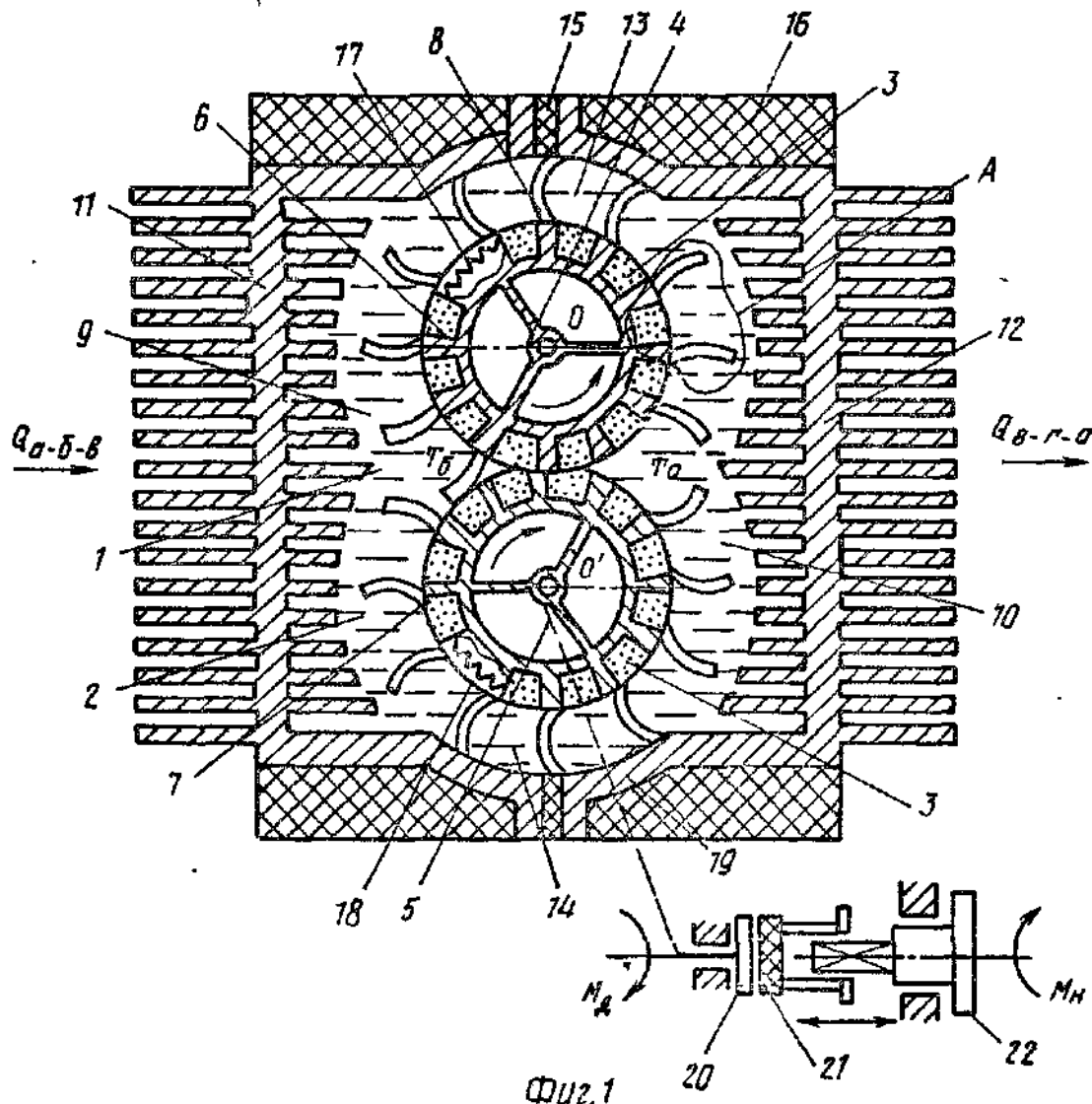
Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

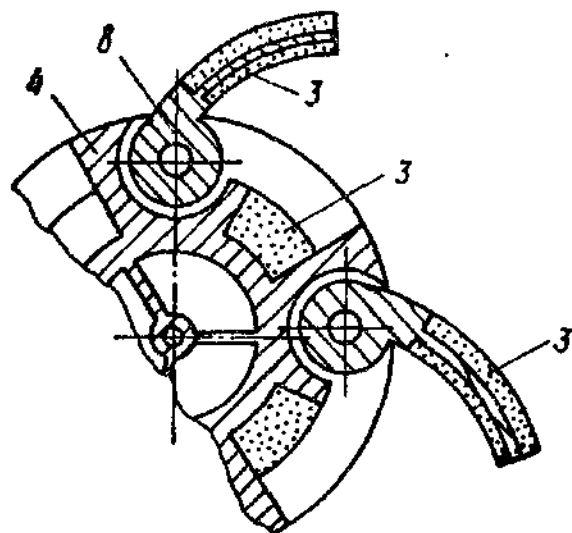
1. Роторный тепловой двигатель, содержащий рабочую камеру, заполненную жидкостью и капиллярно-пористым телом с лиофобной поверхностью, гер-

метично разделенную на две емкости, одна из которых - горячая - постоянно связана с теплообменником нагревателя, а другая - холодная - с теплообменником холодильника, и гидравлический рабочий орган с ротором в виде цилиндра с подвижными в радиальном направлении лопастями, отличающийся тем, что, с целью упрощения конструкции и повышения надежности, рабочий орган выполнен в виде двух кинематически связанных между собой роторов с параллельными осями вращения, цилиндры роторов вдоль общей их образующей введены во взаимный контакт качения, лопасти роторов прижаты к цилиндрам на участке взаимного контакта последних, камера разделена на две симметричные емкости размещенными в ее середине роторами, лопасти на участках, противоположных участку контакта цилиндров,

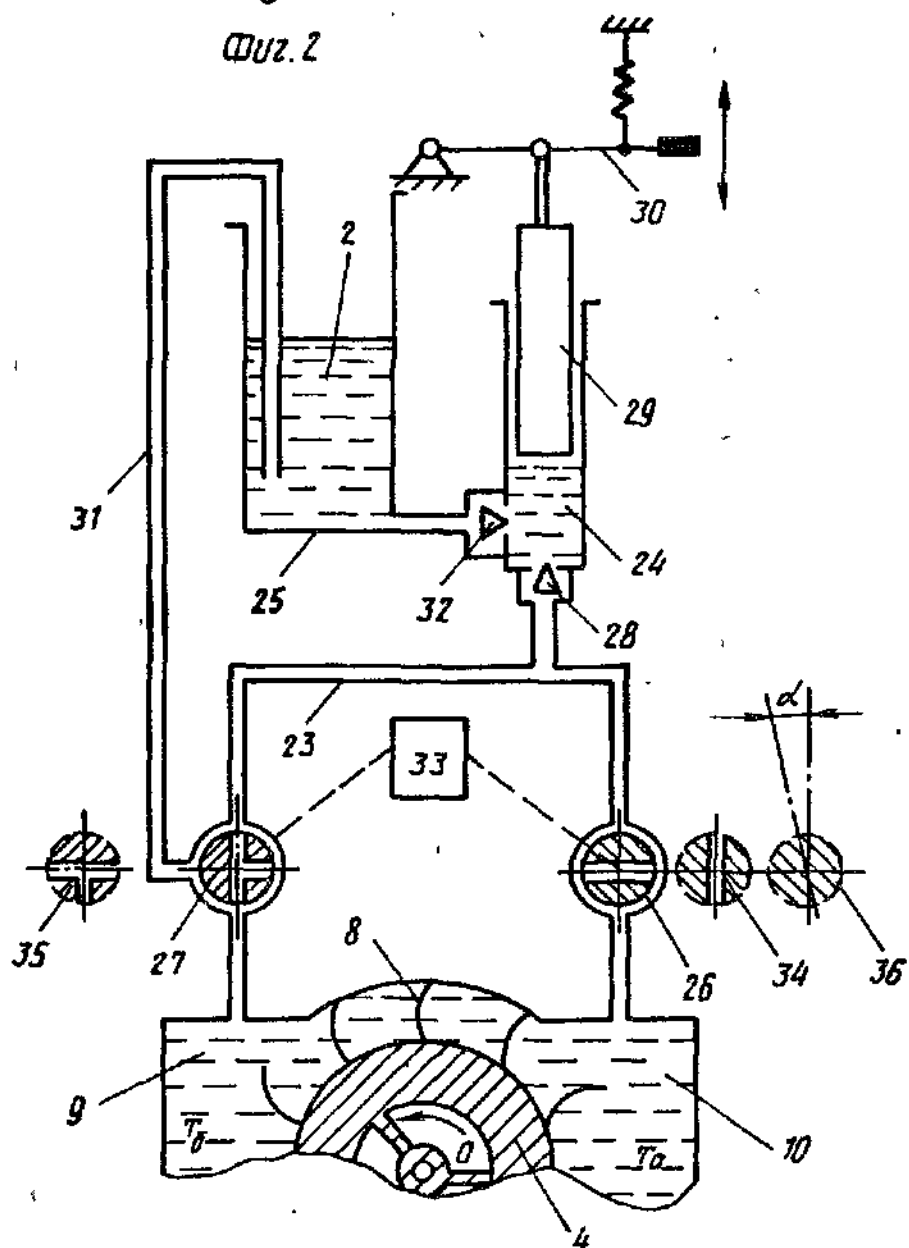
введены в скользящий контакт с соответствующими поверхностями стенок емкостей, центры кривизны которых совпадают с осями вращения роторов, а капиллярно-пористое тело размещено на поверхностях цилиндров и лопастей.

2. Двигатель по п.1, отличающийся тем, что, с целью упрощения запуска и управления, он дополнительно снабжен гидропроводом-байпасом, источником жидкости высокого давления и резервуаром с запасом жидкости, а также управляемыми двухходовым вентилям и трехходовым краном, гидропровод связан с холодной емкостью через двухходовый вентиль, а с горячей емкостью - через трехходовый кран, участок гидропровода между вентилем и краном соединен через обратный клапан с источником жидкости высокого давления, а кран соединен с резервуаром.

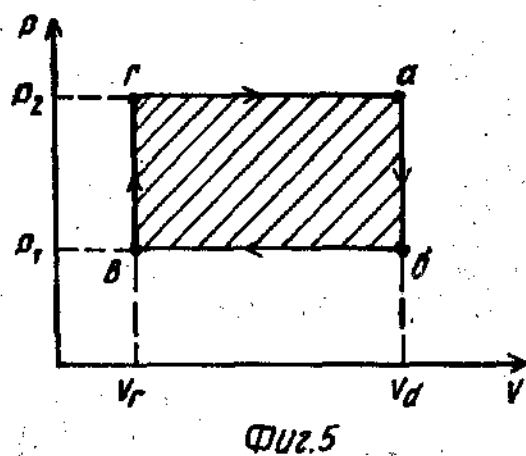
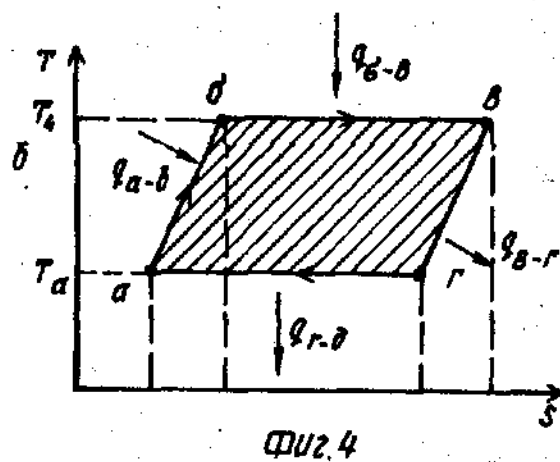




Фиг. 2



Фиг. 3



Редактор Н.Федорова

Составитель Л.Тугарев  
Техред М.Ходанич

Корректор В.Бутяга

Заказ 77/ДСП

Тираж 188

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная, 4