



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

ДЛЯ СЛУЖЕБНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКЗ. № 000.01

(19) **SU** (11) **1508665** **A1**

(5D) 4 F 03 G 7/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГКНТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4359658/25-06

(22) 13.11.87

(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 № 1452262, кл. F 03 G 7/00, 1986.

(54) ГИДРОКАПИЛЛЯРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С
ВНЕШНИМ ТЕПЛОПРОВОДОМ

(57) Изобретение обеспечивает упрощение конструкции и повышение надежности двигателей с внешним подводом тепла и закрытым термодинамическим циклом, использующим для получения механической работы тепловое расширение и сжатие гетерогенной термодинамической системы "жидкость (Ж) - лиофобное капиллярно-пористое тело (ЛКПТ)", и может быть использовано при создании тепловых двигателей повышенной удельной мощности. В кор-

пусе 1 размещена рабочая камера 6 с нагревателем 2 и холодильником 4. Камера 6 герметично разделена роторами (Р) 7 и 8 на емкость 12 низкого давления, имеющую тепловой контакт с нагревателем 2, и емкость 13 высокого давления, имеющую тепловой контакт с холодильником 4. На Р 7 и 8 размещены секции 15 с ЛКПТ. На валах Р 7 и 8 соответственно закреплены роторы (Р) 23 и 24 объемного гидродвигателя (Г) 17. Емкость 12 и полость 21 низкого давления Г 17 сообщены каналом 22, а емкость 13 и полость 19 высокого давления Г 17 - каналом 20. В емкости 12 Ж заполняет поры ЛКПТ. При вращении Р 7 и 8 ЛКПТ с заполненными порами попадает в емкость 13 и в результате охлаждения под возросшим капиллярным давлением Ж выталкивается из пор ЛКПТ и поступает по каналу 20 в Г 17, приводя Р 23 и 24 во вращение. Из полости 21 низкого давления Г 17 Ж снова поступает в емкость 12 по каналу 22. 4 ил.

(19) **SU** (11) **1508665** **A1**

Изобретение относится к двигателям с внешним подводом тепла и закрытым термодинамическим циклом, использующим для получения механической работы гетерогенную термодинамическую систему "жидкость - лиофобное капиллярно-пористое тело", и может быть использовано при создании тепловых двигателей повышенной удельной объемной мощности.

34-89.

Целью изобретения является упрощение конструкции и повышение надежности.

На фиг. 1 представлена принципиальная схема гидрокпиллярного двигателя с внешним теплопроводом; на фиг. 2 представлен узел механизма запуска и останова двигателя; на фиг. 3 даны I-S и P-V-диаграммы термодинамического цикла, реализуемого

в описываемом изоплателе; на фиг. 4 представлена схема сборки двигателя в аксонометрии.

Двигатель содержит размещенные в корпусе 1 нагреватель 2 с теплообменником 3, холодильник 4 с теплообменником 5 и рабочую камеру 6. Камера 6 герметично разделена двумя прижатыми друг к другу роторами 7 и 8 с параллельными валами 9 и 10 соответственно на две заполненные жидкостью 11 симметричные емкости 12 и 13. Емкость 12 низкого давления имеет тепловой контакт с нагревателем 2, а емкость 13 высокого давления - с холодильником 4. На роторах 7 и 8 размещены герметично изолированные друг от друга радиальными перегородками 14 секции 15 с лиофобным капиллярно-пористым телом 16. Валы 9, 10 роторов 7, 8 связаны с элементом отбора мощности, выполненным в виде роторного двухвального гидродвигателя 17 объемного типа, размещенного в корпусе 18. Полость 19 высокого давления гидродвигателя 17 сообщена с емкостью 13 высокого давления выполненным в корпусах 1 и 18 профилированным каналом 20, а полость 21 низкого давления гидродвигателя 17 сообщена с емкостью 12 низкого давления выполненным в корпусах 1 и 18 профилированным каналом 22. Роторы 23 и 24 гидродвигателя 17 выполнены в виде шестерен (могут быть заменены на роторы коловратного двигателя любого другого типа). Ротор 23 закреплен на валу 9 ротора 7 рабочей камеры 6, а ротор 24 - на валу 10 ротора 8 камеры 6. Роторы 7 и 8 выполнены в виде безлопастных перфорированных цилиндров 25, а секции 15 с капиллярно-пористым телом 16 размещены внутри цилиндров 25.

Емкости 12 и 13 разделены теплоизолирующей прокладкой 26. Корпус 1 состоит из двух частей, герметично связанных болтами 27. Камера 6 закрыта крышкой 28 из теплоизоляционного материала, в которой установлены упорные подшипники валов 9 и 10 (на чертеже не показаны). Между корпусом 1 камеры 6 и корпусом 18 гидродвигателя 17 расположена теплоизоляционная прокладка 29 с профилированными отверстиями 30 и 31 для прохода жидкости 11, а также с отверстиями для валов 9, 10 и четырьмя

сборочными отверстиями 32. Аналогичные отверстия выполнены в крышке 28 и корпусах 1 и 18, и в этих отверстиях установлены болты 33. Для соединения двигателя с внешней нагрузкой на валу 10 закреплен фланец 34.

Система запуска и останова теплового двигателя (см. фиг. 2) содержит рычажный механизм 35, пружину 36 возврата, клапан 37 в байпасной линии, связывающей емкости 12 и 13 и состоящей из канала 38 в левой половине корпуса 1, канала 39 в прокладке 26 и канала 40 в правой половине корпуса 1. Емкости 12 и 13, полости 19 и 21 и соответствующие каналы 22 и 20 заполнены жидкостью 11, не смачивающей капиллярно-пористое тело 16 (на фиг. 1 направление движения жидкости 11 при работе теплового двигателя показано штриховой линией со стрелками).

Сущность используемого при работе описываемого двигателя термодинамического цикла (см. фиг. 3) заключается в следующем.

В изохорном (изоповерхностном) процессе нагрева "а-б" (см. T-S и P-V диаграммы к гетерогенной системе "жидкость 11 - капиллярно-пористое тело 16" подводят тепло q_1 для нагрева системы от температуры T_2 до температуры T_1 , при этом межфазная поверхность контакта жидкости 11 и тела 16 минимальна, вплоть до нуля $\Omega \approx \Omega_{\min} \approx 0$).

$$q_1 = C_V(T_1 - T_2) \quad (1)$$

где C_V - суммарная теплоемкость жидкости 11 и тела 16.

В рассматриваемом процессе "а-б" в замкнутом объеме $V_1 = \text{const}$, давление снижается от значения P_2 до значения P_1 (гидростатическое давление в системе определяется капиллярным давлением Лапласа).

$$P_1 = \frac{2\sigma_1 \cos \theta}{r}, \quad (2)$$

где σ_1 - поверхностное натяжение жидкости 11 при температуре T_1 ,
 θ - краевой угол смачивания (для лиофобных систем $\theta > 90^\circ$),
 r - радиус пор и капилляров (в емкостях 12 и 13 двигателя используется монопористое тело 16, т.е. для всего

объема твердого тела 16
справедливо, что $\gamma = \text{const}$).

Поверхностное натяжение жидкости
11 при неизменном химическом составе
зависит только от температуры

$$\sigma = \sigma_0 (1 - T/T_{кр}) \quad (3)$$

где σ_0 - постоянный коэффициент,
имеющий размерность поверх-
ностного натяжения (гипо-
тетическое значение σ при
 $T = 0$),

T - текущее значение температу-
ры;

$T_{кр}$ - критическое значение тем-
пературы, при котором
 $\sigma = 0$.

Из вышеизложенного следует, что
поверхностное натяжение жидкости 11
при нагреве снижается, поэтому в
процессе "а-б" давление в системе
падает ($P_1 < P_2$ на P-V диаграмме
фиг. 3).

В изобарно-изотермическом процес-
се "б-в" образования межфазной по-
верхности контакта "жидкость 11 -
твердое тело 16" к системе подводит-
ся в большом количестве скрытая теп-
лота q_2 образования поверхности
 $\Omega_{\text{макс}}$ и небольшая работа $\delta W_{\delta-\delta}$ по
сжатию гетерогенной системы "жид-
кость 11 - тело 16" от объема V_1 до
объема V_4 при низком давлении P_1
(из-за высокой температуры T_1).

$$q_2 = T_1 \frac{d\sigma}{dT} \cos \theta \Omega_{\text{макс}} \quad (4)$$

$$\delta W_{\delta-\delta} = P_1 (V_4 - V_1) = P_1 \Delta V, \quad (5)$$

где $\frac{d\sigma}{dT} \cos \theta$ - поверхностная энтро-
пия единицы межфазной
поверхности контакта
(величина $\frac{d\sigma}{dT}$ - физи-
ческая константа для
данной жидкости 11),
 ΔV - изменение объема сис-
темы, равное объему
 V_n открытых пор капил-
лярно-пористого те-
ла 16.

В изохорном (изоповерхностном)
процессе охлаждения гетерогенной
системы "жидкость 11 - тело 16" (про-
цесс "в-г" на T-S и P-V-диаграммах
фиг. 3) от нее отводится тепло $q_3 =$

$= q_1$ с понижением температуры от T_1
до T_2 .

$$q_3 = -C_V (T_1 - T_2). \quad (6)$$

При этом в замкнутом объеме $V_4 =$
 $= \text{const}$ при $\Omega = \Omega_{\text{макс}}$ давление вырастает до уровня P_2

$$P_2 = \frac{2\sigma_2 \cos \theta}{r} \quad (7)$$

из-за возросшего значения $\sigma_2 > \sigma_1$
при падении температуры до уровня
 T_2 , что следует из формулы (3).

15 В изобарно-изотермическом процес-
се сокращения межфазной поверхности
от значения $\Omega_{\text{макс}}$ до уровня $\Omega_{\text{мин}} \approx 0$
(процесс "г-а" на T-S и P-V-диаграм-
мах фиг. 3) происходит самопроизволь-
ное выталкивание жидкости 11 из пор
20 в объеме $\Delta V = V_n$ при максимальном
давлении P_2 . При этом система совер-
шает большую работу $\delta W_{г-а}$ против
внешних сил

$$\delta W_{г-а} = P_2 \Delta V \quad (8)$$

при одновременном отводе от системы
небольшого количества тепла q_4 (скры-
тая теплота сокращения поверхности).

$$q_4 = T_2 \frac{d\sigma}{dT} \cos \theta \Omega_{\text{макс}}. \quad (9)$$

При этом термодинамическая систе-
ма возвращается в исходное состояние
(точка "а" на T-S и P-V-диаграммах
фиг. 3) и затем цикл повторяется.

За цикл в системе оседает тепло
в количестве

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = (q_1 + q_2) - (q_3 + q_4) = (T_1 - T_2) \frac{d\sigma}{dT} \cos \theta \Omega_{\text{макс}}, \quad (10)$$

45 и за счет этого совершается работа

$$\delta W = \delta W_{г-а} - \delta W_{\delta-\delta} = (P_2 - P_1) \Delta V = \frac{2\sigma_0 \cos \theta}{r \cdot T_{кр}} (T_1 - T_2) V_n. \quad (11)$$

50 Термический КПД цикла и описывае-
мого теплового двигателя определяет-
ся следующим выражением (для цикла
без регенерации):

$$\eta = \frac{\Delta Q}{Q_1} = \frac{\eta_k}{1 + \eta_k \frac{C_V}{\Omega_{\text{макс}} (d\sigma/dT) \cos \theta}}, \quad (12)$$

где $\eta_k = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ - термический КПД
предельного цикла
Карно.

Из выражения (12) следует, что при использовании высокодисперсного капиллярно-пористого тела 16 (когда $\Omega_{\text{макс}} \rightarrow \infty$) термический КПД цикла и описываемого теплового двигателя реально приближается к значению КПД цикла Карно. Реальность достижения КПД цикла Карно вытекает из большого значения удельных поверхностей, используемых в качестве капиллярно-пористого тела 16 адсорбентов (200-100 м² на 1 г вещества), применяемых в катализной и химической промышленности (силикагели, алюмосиликагели, активные угли, цеолиты и т.д.).

При осуществлении регенерации тепла в цикле (см. фиг. 3) справедливо равенство $q_3 = q_1$, и тогда условие $\eta \rightarrow \eta_k$ выполняется без соблюдения требования: $\Omega_{\text{макс}} \rightarrow \infty$

Гидрокапиллярный двигатель работает следующим образом.

В емкости 12 низкого давления жидкость 11 легко заполняет объем пор капиллярно-пористого тела 16 из-за низкого значения капиллярного давления Лапласа P_1 при высокой температуре T_1 (низкое значение поверхностного натяжения σ_1 в емкости 12). При вращении роторов 7 и 8 капиллярно-пористое тело 16, заполненное высокотемпературной жидкостью 11, переносится в емкость 13 по мере того, как элементарные объемы, ограниченные перегородками 14, проходят линию касания роторов 7 и 8. Из-за снижения температуры до уровня T_2 в емкости 13 поверхностное натяжение жидкости 11 увеличивается до значения σ_2 , соответственно возрастает капиллярное давление в емкости 13 до максимального уровня P_2 , под действием которого жидкость 11 выталкивается из порового пространства капиллярно-пористого тела 16 и поступает в емкость 13. Вытесняемый при этом объем $\Delta V = V_0 = \varphi V_T$ жидкости 11 (V_T - объем капиллярно-пористого тела 16, φ - его пористость) является избыточным для емкости 13, поэтому под действием перепада давления $\Delta P = P_2 - P_1$ жидкость 11 перетекает из емкости 13 высокого давления в емкость 12 низкого давления через ка-

нал 20, полости 19 и 21 объемного гидродвигателя 17 и канал 22, вызывая при этом вращение роторов 23 и 24 гидродвигателя (шестерен). Поскольку вместе с роторами 23 и 24 на валах 9 и 10 закреплены роторы 7 и 8, то последние также проворачиваются, внося новые порции жидкости 11 в емкость 13 и уводя оттуда эквивалентный объем пустого поворота пространства капиллярно-пористого тела 16 в емкость 12 низкого давления.

Будучи охлажденным в емкости 13 до температуры T_2 , новые порции жидкости 11 вновь вытесняются из порового пространства капиллярно-пористого тела 16 и, проходя через полости 19 и 21 объемного гидродвигателя 17, попадают в емкость 12, где они под низким давлением P_1 нагнетаются в эквивалентные объемы пустых пор, поступивших сюда из емкости 13 в процессе проворачивания роторов 7 и 8. Естественно, что жидкость 11 заполняет пустые поры капиллярно-пористого тела 16 в емкости 12 после предварительного нагрева ее и капиллярно-пористого тела 16 в этой емкости 12 до температуры T_1 .

Как уже указывалось, порции жидкости 11, проходя через объемный гидродвигатель 17, вызывают проворот роторов 23 и 24 и, следовательно, через систему роторов 7 и 8 обуславливают перенос новых порций жидкости 11 из емкости 12 в емкость 13 и эквивалентный перенос тары (незаполненные поры и капилляры) из емкости 13 в емкость 12. Таким образом обеспечивается непрерывное вращение вала 10, связанного через фланец 34 с нагрузкой при наличии перепада температур $\Delta T = T_1 - T_2$ в емкостях 12 и 13.

Как видно, процессы нагрева и охлаждения гетерогенной системы "жидкость 11 - лиофобное капиллярно-пористое тело 16" (процессы "а-б" и "в-г" на T-S и P-V-диаграммах на фиг. 3), как и процессы образования и сокращения межфазной поверхности (процессы "б-в" и "г-а" на T-S и P-V-диаграммах фиг. 3 (совмещены во времени. В частности, процесс вытеснения жидкости 11 из порового пространства в емкости 13 высокого давления совпадает по времени с про-

цессом нагнетания жидкости 11 в пустое поровое пространство капиллярно-пористого тела 16, находящегося в это время в емкости 12 низкого давления.

За цикл в рабочей камере 6 двигателя оседает тепло в количестве $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ (см. фиг. 1) и за счет этого осуществляется полезная работа δW на валу 10 двигателя.

Как следует из формулы (11), работа, совершаемая за время цикла, при прочих равных условиях определяется разностью температур $\Delta T = T_1 - T_2$.

Запуск двигателя осуществляется следующим образом (см. фиг. 2). В исходном состоянии роторы 7, 8, 23 и 24 неподвижны. Все пространство капиллярно-пористого тела 16 свободно от жидкости 11. Нажатием на рычаг (см. фиг. 2) открывают клапан 37 и, открывая канал 40 байпасной линии, выравнивают давление в емкостях 12 и 13, а следовательно, и в полостях 19 и 21 объемного гидродвигателя 17. Затем при открытом клапане 37 проворачивают фланец 34 по часовой стрелке (любым известным способом, в том числе с помощью стартера). При этом роторы 7 и 8 легко проворачиваются, выводя систему из равновесия, из емкости 12 в емкость 13 поступает определенный объем жидкости 11, находящейся в порах при температуре T_1 , а в емкость 12 из емкости 13 перемещается эквивалентный объем пустого порового пространства. Сразу же после описанного стартового проворачивания роторов 7 и 8 отпускают рычаг механизма 35, и под действием пружины 36 клапан 37 закрывается, перекрывая канал 40 байпасной линии. В результате охлаждения жидкости 11, поступавшей в емкость 13 при температуре T_1 , до температуры T_2 она вытесняется из пор и капилляров и через объемный гидродвигатель 17 поступает в емкость 12. При этом проворачиваются роторы 23 и 24 объемного гидродвигателя 17 и связанные с ними роторы 7 и 8, внося новые порции нагретой до температуры T_1 жидкости 11 в емкость 13 и пустое поровое пространство — в емкость 12. Двигатель начинает работать в соответствии с ранее описанным принципом.

Останов двигателя осуществляется (см. фиг. 2) нажатием на рычаг меха-

низма 35 и открытием клапана 37, при этом давление в емкостях 12 и 13 выравнивается, и тепловой двигатель останавливается.

Быстродействие двигателя определяется скоростью теплообмена в его емкостях 12 и 13. Поскольку скорость теплообмена при прочих равных условиях пропорциональна разности температур взаимодействующих фаз, то, увеличивая перепад температур $\Delta T = T_1 - T_2$, увеличивают скорость вращения роторов 7, 8, 23 и 24 (см. фиг. 1), т.е. мощность теплового двигателя.

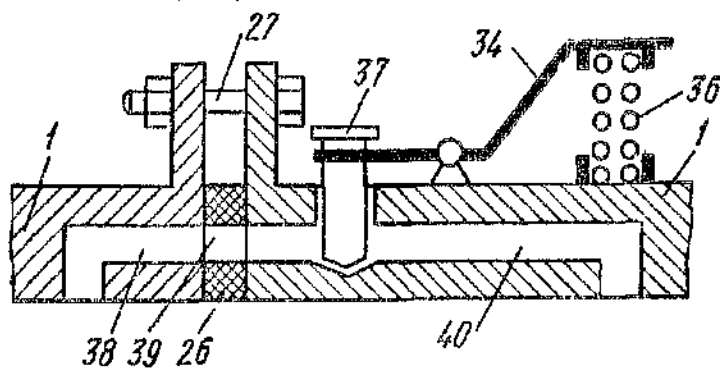
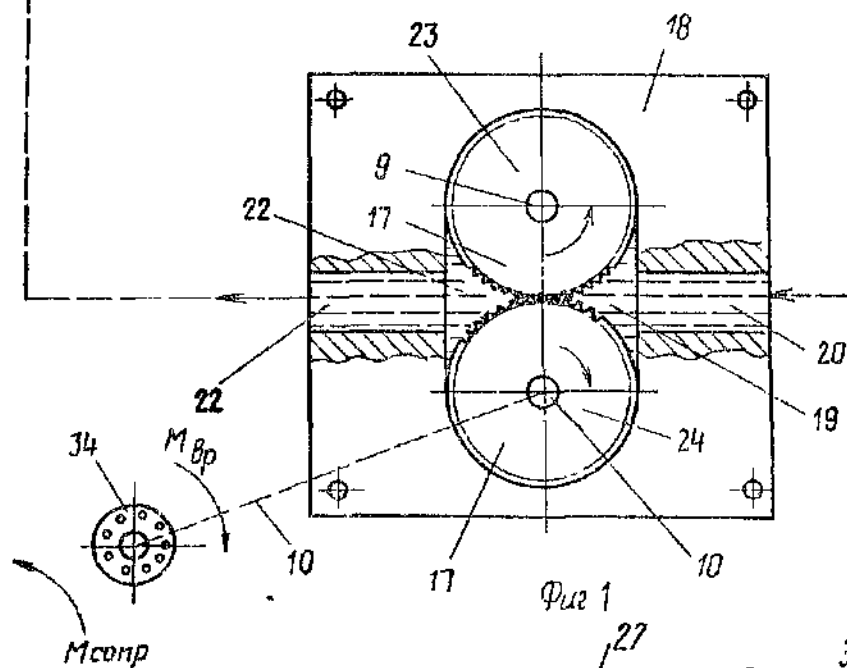
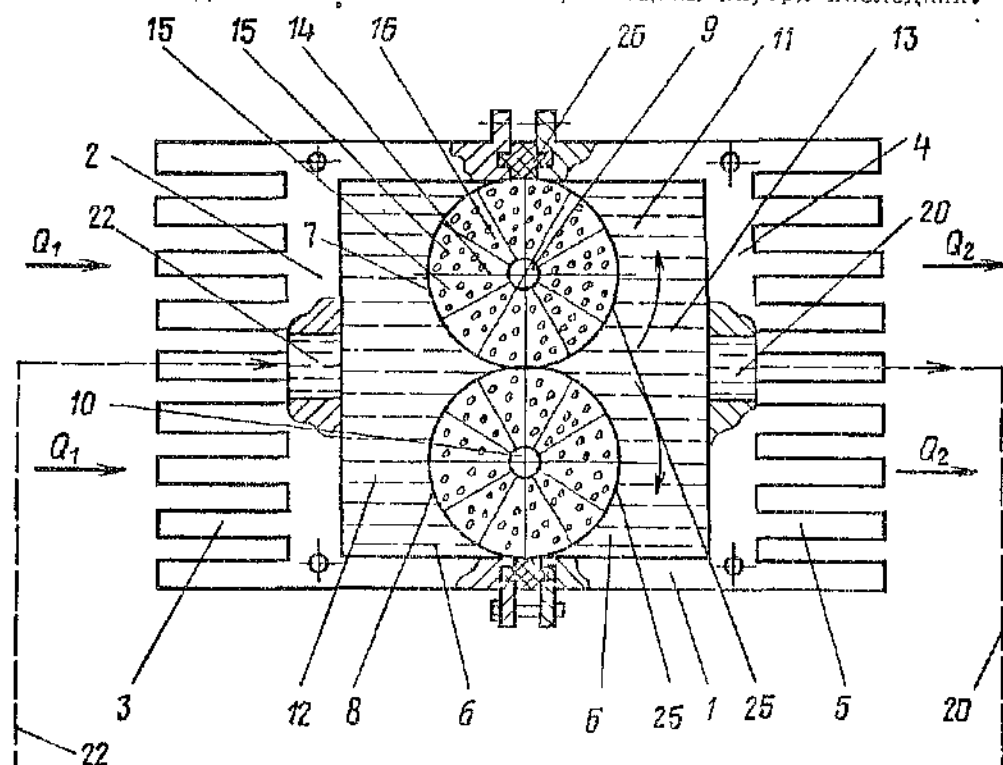
Модельные испытания теплового двигателя в лаборатории кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов теплоэнергетического факультета Киевского политехнического института и СКБ "Ритм" показали работоспособность и надежность двигателя. В качестве капиллярно-пористого тела при этом использовали монопористое натрий-боросиликатное стекло, модифицированное олефинами для придания фобности поровому пространству стекла, а в качестве жидкости — воду.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

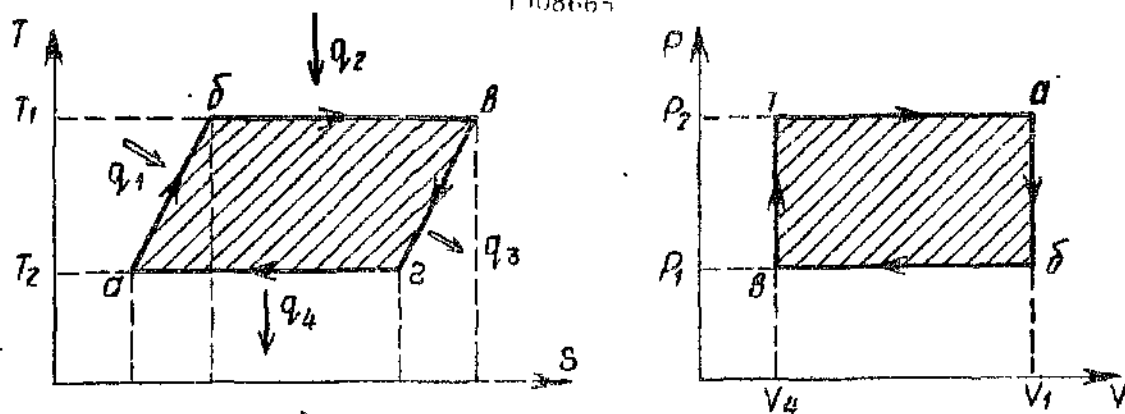
Гидрокапиллярный двигатель с внешним теплоподводом, содержащий размещенные в корпусе нагреватель с теплообменником, холодильник с теплообменником и рабочую камеру, герметично разделенную двумя прижатыми друг к другу роторами с параллельными валами на две заполненные жидкостью симметричные емкости, одна из которых — емкость низкого давления имеет тепловой контакт с нагревателем, а другая — емкость высокого давления — с холодильником, причем на роторах размещены герметично изолированные друг от друга радиальными перегородками секции с лиофобным капиллярно-пористым телом, а вал одного из роторов связан с звеном отбора мощности, отличающийся тем, что, с целью упрощения конструкции и повышения надежности, звено отбора мощности выполнено в виде роторного двухвального гидродвигателя объемного типа, полости высокого и низкого давления гидродвигателя сообщены соответственно с емкостями высокого и низкого давления посредством дополнительно выполненных в корпусе каналов, каждый ротор гидродвигателя закреплен на одном из ва-

лов роторов рабочей камеры, последние выполнены в виде безлопастных

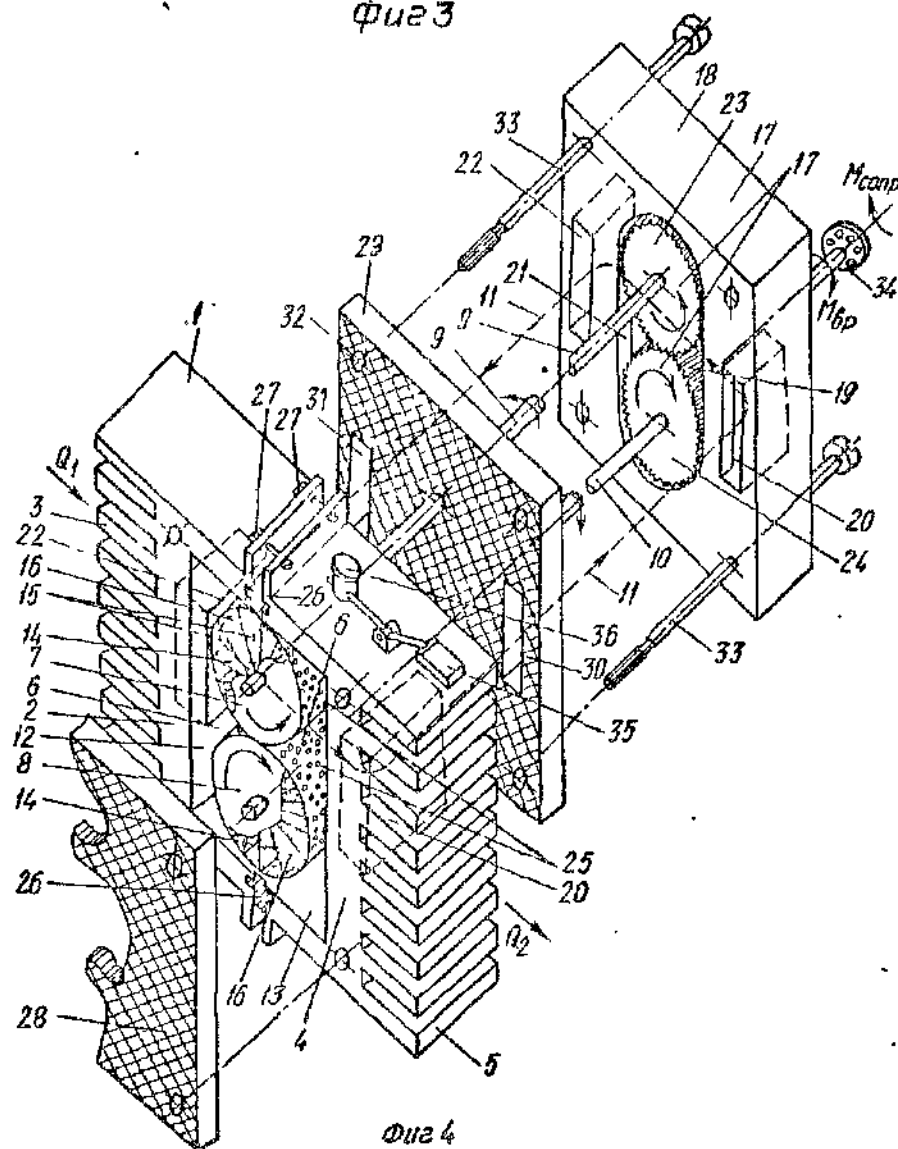
перфорированных цилиндров, а секции размещены внутри последних.



Фиг 2



Фиг 3



Фиг 4

Составитель Л. Тугарев

Редактор В. Фельдман

Техред М. Ходанч

Корректор М. Шарош

Заказ 1732/ДСП

Тираж 191

Подписное

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

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101

